

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**



**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA EN LA  
OPERACIÓN MINERA LAGUNAS NORTE DE MINERA  
BARRICK MISQUICHILCA S.A.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**MACHACA SUAÑA, RILDO JHOEL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**

**TESIS**

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA EN LA OPERACIÓN  
MINERA LAGUNAS NORTE DE MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.

PRESENTADA POR:

**MACHACA SUAÑA RILDO JHOEL**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**



**APROBADA POR:**

**PRESIDENTE:**

  
M.Sc. ANGEL MARIO HURTADO CHAVEZ


**PRIMER MIEMBRO:**

  
M.Sc. MARCOS JOSE VILLANUEVA CORNEJO

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
M.Sc. JHIMMY ALBERTH QUISOCALA HERRERA

**DIRECTOR / ASESOR:**

  
M.S.c. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA

Área : Eléctrica  
Tema : Eficiencia Energética

FECHA DE SUSTENTACION: 17 DE MAYO DEL 2019

## DEDICATORIA

El presente proyecto de tesis va dedicado a mis padres, que gracias a su apoyo incondicional, a sus consejos y a su amor, supieron guiarme por el sendero de la ingeniería.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente el conocimiento brindado en mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, que supieron formar profesionales competentes, en lo profesional y en lo personal.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	12
ÍNDICE DE TABLAS .....	15
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	16
RESUMEN .....	17
ABSTRACT.....	18
CAPITULO I .....	19
INTRODUCCIÓN .....	19
1.1. Planteamiento del problema .....	21
1.1.1. Descripción del problema .....	21
1.1.2. Formulación del problema .....	21
1.1.2.1. Problema General.....	21
1.1.2.2. Problemas Específicos .....	21
1.2. Justificación.....	21
1.2.1. Justificación Técnica.....	21
1.2.2. Justificación económica .....	22
1.2.3. Justificación social.....	22
1.3. Objetivos.....	22
1.3.1. Objetivo general.....	22
1.3.2. Objetivos Específicos .....	22
1.4. Hipótesis .....	22
1.4.1. Hipótesis General.....	22
1.4.2. Hipótesis Específica.....	23
CAPITULO II.....	24

REVISIÓN DE LITERATURA.....	24
2.1. Antecedentes de la investigación.....	24
2.2. Marco Teórico .....	28
2.2.1. Eficiencia energética (EE). .....	28
2.2.2. Instrumentos de medición.....	28
2.2.2.1. ¿Qué es medir?.....	28
2.2.2.2. Sistema internacional (S.I.).....	29
2.2.2.3. Medición de un sistema eléctrico.....	29
2.2.2.4. Amperímetro .....	29
2.2.2.5. Voltímetro .....	30
2.2.2.6. Frecuencímetro.....	30
2.2.2.7. Medidores de Factor de Potencia (F.P.).....	31
2.2.2.8. Vatímetro.....	33
2.2.2.9. Varímetro .....	33
2.2.2.10. Transformador de medida .....	34
2.2.2.11. Transformador de corriente.....	34
2.2.2.12. Transformador de tensión .....	34
2.2.2.13. Medidor de energía .....	35
2.2.2.14. Analizador de redes.....	36
2.2.3. Transformador .....	37
2.2.3.1. Eficiencia en transformadores.....	37
2.2.3.2. Minimización de pérdidas en el núcleo y el cobre.....	39
2.2.3.3. Eficiencia del transformador a partir de su circuito equivalente.....	39
2.2.3.4. Determinación de la máxima eficiencia de un transformador. ....	41
2.2.4. Motor eléctrico.....	42
2.2.4.1. Eficiencia en motores eléctricos de inducción.....	42
2.2.4.2. Factor de carga.....	45

2.2.4.3. Factor de servicio .....	45
2.2.4.4. Depreciación de la eficiencia en función a la diferencia de voltaje ....	46
2.2.4.5. Depreciación en función al desbalance de voltaje .....	46
2.2.4.6. Reducción de eficiencia en función al desbalance de corriente.....	47
2.2.4.7. Voltaje de alimentación diferente al nominal .....	48
2.2.4.8. Disminución de las perdidas por efecto Joule.....	48
2.2.4.9. Compensación de potencia reactiva .....	49
2.2.5. Variadores de Velocidad.....	52
2.2.6. Variadores de frecuencia .....	53
2.2.6.1. Conceptos básicos sobre variadores para motor trifásico .....	55
2.2.6.2. Características de carga típicas: .....	59
2.2.6.3. Otros parámetros y características: .....	61
2.2.6.4. Protección del motor y variador .....	61
2.2.6.5. Temperatura de trabajo del motor .....	62
2.2.6.6. Funciones o parámetros más importantes de un variador de frecuencia .....	65
2.2.6.7. Señales de salida .....	66
2.2.6.8. Regulación en lazo abierto o cerrado .....	67
2.2.6.9. Ventajas del uso del variador de frecuencia.....	67
2.2.6.10. Desventajas del uso de un variador de frecuencia .....	68
2.2.7. Tarifas Eléctricas .....	68
2.2.7.1. Usuarios en Media Tensión (MT) y Baja Tensión (BT).....	68
2.2.7.2. Horas de Punta (HP) y Horas Fuera de Punta (HFP).....	69
2.2.7.3. Potencia Instalada, Potencia Conectada y Potencia Contratada.....	69
2.2.7.4. Demanda Máxima Mensual, Demanda Máxima Mensual en Horas de Punta y Horas Fuera de Punta .....	70
2.2.7.4. Usuario libre.....	71
2.2.7.4. Usuario regulado .....	71

CAPITULO III.....	72
MATERIALES Y MÉTODOS .....	72
3.1. Materiales .....	72
3.1.1. Multilin 750 – General Electric .....	72
3.1.1.1. Protección y control .....	72
3.1.1.2. Comunicación .....	73
3.1.1.3. Monitoreo y medición .....	73
3.1.1.4. EnerVista Software .....	73
3.1.2. Multilin 369 – General Electric .....	73
3.1.2.1. Protección y control .....	73
3.1.2.2. Interfaz de usuario.....	74
3.1.2.3. Monitoreo y medición.....	74
3.1.2.4. Comunicaciones .....	75
3.1.2.5. EnerVista Software .....	75
3.1.3. RetScreen Software.....	75
3.1.4. Etap Software.....	76
3.2. Método y diseño de la investigación .....	77
3.3. Ubicación y descripción de la población.....	78
3.3.1. Ubicación de la operación minera. ....	78
3.3.2. Descripción de la población.....	79
3.4. Técnicas de recolección de datos .....	79
3.5. Técnicas de análisis .....	80
3.5.1. Áreas de la operación minera.....	80
3.5.2. Análisis de Precios de energía eléctrica.....	80
3.5.3. Análisis con software ETAP.....	80
3.5.3.1. Análisis de la subestación principal .....	80

3.5.3.2. Subestación principal operando con un solo transformador de potencia	81
3.5.3.3. Subestación Principal operando con dos transformadores de potencia	83
3.5.3.4. Subestación Principal operando con tres transformadores de potencia.	84
3.5.3.5. Verificación de la compensación reactiva de 3 MVAR en la subestación principal	85
3.5.3.6. Subestación principal operando con tres transformadores de potencia y compensación reactiva 3 MVAR.	86
3.5.3.6. Conexión de banco de capacitores de 500 KVAR en bombas barren 3A, 3B y bomba vogel en planta de procesos Merrill Crowe	88
3.5.4. Análisis por proceso con software RetScreen	89
3.5.4.1. Planta Procesos Merrill Crowe	90
3.5.4.1.1. Bomba Barren 3A	91
3.5.4.1.2. Bomba Barren 3B	91
3.5.4.1.3. Bomba Vogel	91
3.5.4.1.4. Bomba Filtro Prensa 6A	92
3.5.4.1.5. Bomba Filtro Prensa 6B	92
3.5.4.1.6. Bomba Pregnant 1	93
3.5.4.1.7. Bomba Filtro Hojas 1 A	93
3.5.4.1.8. Bomba Filtros Hojas 1B	94
3.5.4.1.9. Horno de Inducción 1	94
3.5.4.1.10. Horno de Inducción 2	95
3.5.4.2. Planta CIC	95
3.5.4.3. Planta RO y tratamiento secundario de aguas	95
3.5.4.4. Bombas booster	96
3.5.4.4. Chancado primario	96

3.5.4.5. Chancado Secundario .....	96
3.5.4.6. Ore Bin .....	97
3.5.4.7. Bombas POP .....	97
3.5.4.8. Bombas PLS .....	99
3.5.4.9. Poza ARD y Polishing .....	99
3.5.5. Eficiencia energética en compresoras .....	99
3.5.5.1. Compresora de Aire de Planta 010.....	100
3.5.5.2. Compresora de Aire de Planta 011.....	100
3.5.5.3. Compresor de Instrumentación de Planta .....	100
3.5.5.4. Compresor de Truck Shop 013 .....	101
3.5.5.5. Compresor de Laboratorio Químico .....	101
3.5.5.6. Compresor de Planta RO.....	102
3.5.5.7. Compresora Chancado Primario .....	102
3.5.5.8. Compresora Chancado Secundario .....	103
3.5.5.9. Compresora Truck Shop 013B.....	103
3.5.5.11. Soplador de Tanques de Destrucción de Cianuro 017 .....	104
3.5.5.12. Soplador Tanques de Destrucción de Cianuro 021 .....	104
3.5.5.13. Compresor Sparjet ARD .....	105
3.5.5.14. Soplador de Tanques de Destrucción de Cianuro 019 .....	105
CAPITULO IV .....	107
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	107
4.1. Perfil de consumo de energía eléctrica.....	107
4.2. Resultados del análisis de precios de energía.....	107
4.3. Demanda máxima del sistema eléctrico .....	108
4.4. Resultados de planta procesos Merrill Crowe .....	108
4.5. Resultados de bombas POP .....	111
4.6. Resultado de compresoras. ....	114

4.7. Resumen de inversiones y paybacks .....	116
CONCLUSIONES .....	118
RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS.....	120
ANEXOS .....	124
Anexo A: Multilin 750 .....	124
Anexo B: Multilin 369.....	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Amperímetro digital tipo pinza .....	30
Figura 2.2 Voltímetro analógico .....	30
Figura 2.3 Frecuencímetro analógico .....	31
Figura 2.4 Desfase de corriente respecto a tensión.....	32
Figura 2.5 Frecuencímetro analógico .....	33
Figura 2.6 Circuito eléctrico referencial de medida de un vatímetro .....	33
Figura 2.7 Varímetro.....	34
Figura 2.8 Proceso de la señal en un medidor de energía.....	35
Figura 2.9 Circuito equivalente por fase de un transformador de potencia trifásico .....	40
Figura 2.10 Motor eléctrico .....	42
Figura 2.11 Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción.....	43
Figura 2.12 Eficiencia vs potencia (HP) en motores eléctricos .....	45
Figura 2.13 Depreciación de la eficiencia en función a la diferencia de voltaje .....	46
Figura 2.14 Depreciación en función al desbalance de voltaje.....	47
Figura 2.15 Disminución de pérdidas por efecto Joule .....	49
Figura 2.16 Compensación de motores en las salidas de BT .....	50
Figura 2.17 Compensación parcial en motores.....	51
Figura 2.18 Compensación individual en motores eléctricos .....	52
Figura 2.19 Flujo de señales que pasan por un variador .....	53
Figura 2.20 Diagrama en bloques de un variador .....	54
Figura 2.21 Sobre-velocidad de un motor .....	56
Figura 2.22 Ejemplo de curvas par-velocidad para par constante .....	57
Figura 2.23 Izq. Tensión de salida vs frecuencia.....	58
Figura 2.24 Par de carga constante .....	59
Figura 2.25 Aceleración lineal de potencia respecto a velocidad .....	59
Figura 2.26 Par de carga cuadrático.....	60
Figura 2.27 Momento vs velocidad .....	60
Figura 2.28 Variación de f, tipo S y doble S.....	61
Figura 2.29 Temperatura del motor (par-velocidad) .....	62
Figura 2.30 Comunicación entre variador y PC .....	64
Figura 2.31 Señal de salida del variador de frecuencia .....	66
Figura 2.32 Variador en lazo abierto y cerrado .....	67



Figura 3.1 Ubicación de la operación minera Lagunas Norte .....	78
Figura 3.2 Datos de placa del transformador de potencia.....	81
Figura 3.3 Operación con un transformador .....	82
Figura 3.4 Perdidas en el sistema eléctrico operando con un transformador .....	82
Figura 3.5 Operación con dos transformadores .....	83
Figura 3.6 Perdidas en el sistema eléctrico operando con dos transformadores.....	84
Figura 3.7 Operación con tres transformadores.....	85
Figura 3.8 Perdidas en el sistema eléctrico operando con tres transformadores .....	85
Figura 3.9 Triangulo de potencia en la subestación principal .....	86
Figura 3.10 Operación con tres transformadores y banco de capacitores de 3 MVAR..	87
Figura 3.11 Perdidas con tres transformadores y banco de capacitores de 3 MVAR.....	88
Figura 3.12 Operación con banco de capacitores de 500 KVAR en bombas barren y vogel.....	89
Figura 3.13 Perdidas con banco de capacitores de 500 KVAR en bombas barren y vogel .....	89
Figura 3.14 Precio de electricidad RetScreen.....	90
Figura 3.15 Detalles de bomba barren 3A .....	91
Figura 3.16 Detalles de bomba barren 3B .....	91
Figura 3.17 Detalles de bomba vogel .....	92
Figura 3.18 Detalles de bomba filtro prensa 6A .....	92
Figura 3.19 Detalles de bomba filtro prensa 6B .....	93
Figura 3.20 Detalles de bomba pregnant 1 .....	93
Figura 3.21 Detalles de bomba filtro hojas 1A .....	94
Figura 3.22 Detalles de bomba filtros hoja 1B .....	94
Figura 3.23 Detalles de horno de inducción 1 .....	95
Figura 3.24 Detalles de horno de inducción 2 .....	95
Figura 3.25 Inversión en mantenimiento de faja 1 .....	96
Figura 3.26 Inversión en mantenimiento de faja 2 y 5 .....	97
Figura 3.27 Detalles de bomba POP.....	98
Figura 3.28 Reducción de tCO2 por la instalación de VDF para bomba POP .....	98
Figura 3.29 Ahorro tras la instalación de VDF en bomba POP.....	99
Figura 3.30 Detalles de compresora de planta 010 .....	100
Figura 3.31 Detalles de compresora de planta 011 .....	100
Figura 3.32 Detalles de compresora de instrumentación planta .....	101

Figura 3.33 Detalles de compresora de Truck Shop.....	101
Figura 3.34 Detalles de compresora de Laboratorio químico.....	102
Figura 3.35 Detalles de compresora planta RO .....	102
Figura 3.36 Detalles de compresora chancado primario.....	103
Figura 3.37 Detalles de compresora chancado secundario .....	103
Figura 3.38 Detalles de compresora truck shop 013B .....	104
Figura 3.39 Detalles de soplador de tanques de destrucción de cianuro 017 .....	104
Figura 3.40 Detalles de soplador de tanques de destrucción de cianuro 021 .....	105
Figura 3.41 Detalles de Compresor Sparjet ARD.....	105
Figura 3.42 Detalles de Soplador de Tanques de Destrucción de Cianuro 019.....	106
Figura 4.1 Perfil de consumo energético de la operación minera.....	107
Figura 4.2 Máxima demanda del sistema eléctrico.....	108
Figura 4.3 Resultados de análisis de planta Merrill Crowe .....	109
Figura 4.4 Resultados de análisis de hornos de inducción .....	109
Figura 4.5 Reducción de tCO2 en la planta Merrill Crowe .....	110
Figura 4.6 Ahorro y payback de inversión en planta procesos Merrill Crowe .....	110
Figura 4.7 Inversión inicial en planta procesos Merrill Crowe .....	111
Figura 4.8 Ahorro economico obtenido en Bombas POP.....	112
Figura 4.9 Ahorro de energía en bombas POP .....	112
Figura 4.10 Inversión inicial y payback en bombas POP.....	113
Figura 4.11 Resultados de compresoras .....	114
Figura 4.12 Inversión inicial y payback en bombas POP.....	115

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Precios de la energía eléctrica en la operación .....	108
Tabla 4.2 Resumen de inversiones con payback menor a 3 años .....	117

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- ARD: Aguas residuales domesticas
- BT: Baja tensión
- CA: Corriente alterna
- CC: Corriente continúa
- CIC: Coal in Columns (carbón en columnas)
- EE: Eficiencia energética
- FP: Factor de potencia
- GEI: gases de efecto invernadero
- HFP: Hora fuera de punta
- HP: Hora punta
- I: Intensidad de corriente
- ISO: Organización Internacional de Normalización
- KVAR: Kilo Volt-Amper Reactivo
- MBM-LN: Minera Barrick Misquichilca – Laguna Norte
- MT: Media tensión
- MEM: Ministerio de Energía y Minas
- P: Potencia activa
- Q: Potencia reactiva
- RO: Osmosis inversa
- SEIN: Sistema eléctrico interconectado nacional
- SI: Sistema internacional

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó, en la operación minera Lagunas Norte de Barrick Misquichilca S.A., durante los meses de Enero a Julio del 2018, el cual tuvo como objetivo evaluar el sistema eléctrico actual de la operación minera y hacer un estudio de eficiencia energética para poder plantear opciones que logren reducir el gasto en la factura final de consumo de energía eléctrica en la operación, logrando también un impacto positivo en el medio ambiente, esto se realizara con herramientas como (variadores de velocidad, análisis de perdidas, etc) donde se evaluara los precios de energía actual en sistema de distribución en 13.8 kv y 4.16 kv, con ayuda del software RETScreen, que es especializado en el tema de eficiencia energética, y para la simulación del sistema eléctrico de distribución de la mina, se usara el software ETAP, esto servirá para tomar decisiones que contribuyan a la eficiencia energética. La metodología que utilizo para los objetivos fue la recolección de información, análisis, interpretación y evaluación, con lo cual busca la reducción del gasto final en energía eléctrica, los datos del sistema eléctrico actual de la mina se insertaran en el software y se simulara las opciones de eficiencia energética, como la instalación de variadores de velocidad y su consecuencia económica, se analizara las opciones de operación que logren una mayor reducción de pérdidas.

**Palabras Clave:** Sistema eléctrico, eficiencia energética, variadores de velocidad, RETScreen, ETAP.

## ABSTRACT

The present work was carried out in the mining operation Lagunas Norte of Barrick Misquichilca SA, during the months of January to July 2018, which aims to evaluate the current electric system of the mining operation and make an energy efficiency study to be able to raise options that reduce spending on the final bill of electricity consumption in the operation, also achieving a positive impact on the environment, this will be done with tools such as (variable speed drives, loss analysis, etc.) it will be analyzed the current energy prices in distribution system in 13.8 kv and 4.16 kv, with the help of RETScreen software, which is specialized in the subject of energy efficiency, and for the simulation of the electrical distribution system of the mine, the ETAP software will be used, this will help to make decisions that contribute to energy efficiency. The methodology I used for the objectives was the collection of information, analysis, interpretation and evaluation, which seeks to reduce the final expenditure on electricity, data from the current electrical system of the mine will be inserted into the software and simulated Energy efficiency options, such as the installation of variable speed drives and their economic consequence, will analyze the operating options that achieve a greater reduction of losses.

**Keywords:** Electrical system, energy efficiency, variable speed drives, RETScreen, ETAP.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

La energía es consumida en una amplia variedad de formas a través de todo el ciclo de vida de los diferentes sectores productivos, desde la explotación de recursos naturales, hasta el consumo residencial (iluminación, equipos de calefacción, cargas pequeñas). La gran mayoría de la energía es consumida de una manera adecuada, pero también se desperdician grandes cantidades diariamente, es este desperdicio o uso ineficiente de la energía el que debe ser atendido inmediatamente, que trae gastos económicos y energéticos. El presente proyecto ayudara a aliviar dicho desperdicio de energía que trae consecuencias económicas y medioambientales, en la operación minera Lagunas Norte de Minera Barrick Misquichilca S.A. El problema principal que trata este proyecto es el gasto elevado en energía eléctrica, que pese a que en gran medida se consume de manera eficiente, hay un porcentaje que se desperdicia, de esa energía mal utilizada nace este proyecto, con la finalidad de lograr una mayor eficiencia energética.

*“En los últimos tiempos el uso eficiente y racional de la energía ha pasado a ser un elemento importante dentro de la planificación energética de los países, así como de los diversos sectores y tipos de usuarios que tienen la energía como insumo dentro de su proceso productivo y por ende en su producto final. La adopción de esquemas de uso eficiente y racional de la energía dentro de la composición de las matrices energéticas permite aumentar los niveles de competitividad, minimizar el consumo de energía, crear nuevas fuentes y nichos de actuación industrial y comercial y reducir la huella de carbono de los países.”* (CREARA, 2016).

El presente trabajo está enfocado en realizar un estudio de eficiencia energética en el sistema eléctrico de distribución en 13.8 y 4.16 KV de la operación minera Lagunas Norte de minera Barrick Misquichilca S.A., donde se evaluara los precios de energía, se

conocerá el estado del sistema de distribución, se plantearan propuestas para lograr la reducción en la factura final de energía eléctrica y se calculara la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en toneladas de CO<sub>2</sub>. Se utilizara como herramienta, software especializado en el tema, en el presente trabajo se usara el software ETAP para la simulación del sistema eléctrico de distribución de la operación minera, el software RETScreen para la eficiencia energética y el cálculo de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

A continuación, el contenido del proyecto de investigación.

**Capítulo I:** En la primera parte del proyecto se expone el objetivo general, objetivos específicos, hipótesis y la justificación.

**Capítulo II:** Esta sección está comprendida por los antecedentes y el sustento teórico, el cual, para conceptualizar los temas, usa el siguiente orden; conceptos a cerca de eficiencia energética, conceptos de medición o monitoreo de sistemas eléctricos, análisis de eficiencia de equipos utilizados en la operación.

**Capítulo III:** Se da a conocer el planteamiento metodológico, los materiales e instrumentos utilizados para el presente trabajo.

**Capítulo IV:** En este capítulo presentaremos los resultados del análisis que se realizó, donde dichos resultados mostrarán la cantidad de energía ahorrada, toneladas de CO<sub>2</sub>, y se verán las mejores opciones de inversión para mejorar la eficiencia energética.

**Capítulo V:** Se realizará las conclusiones del presente trabajo de investigación, después de haber realizado el análisis y las simulaciones correspondientes.

**Capítulo VI:** En este capítulo se brindarán las recomendaciones para que el ahorro en la factura final.



## **1.1. Planteamiento del problema**

### **1.1.1. Descripción del problema**

El problema principal que intenta solucionar este proyecto es el gasto elevado en energía eléctrica, que pese a que en gran medida se consume de manera eficiente, hay un porcentaje que se desperdicia, de esa energía mal utilizada nace este proyecto, con la finalidad de lograr una mayor eficiencia energética, que con este trabajo de investigación, se muestran opciones para tal objetivo, ayudando también a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que tienen consecuencias negativas en nuestro medio ambiente.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **1.1.2.1. Problema General**

¿Qué efecto tendrá un estudio de eficiencia energética eléctrica en la operación minera Lagunas Norte?

#### **1.1.2.2. Problemas Específicos**

- a. ¿En qué medida se conoce el estado actual del sistema eléctrico de distribución de la operación minera?
- b. ¿Qué efecto económico y ambiental tendrá el estudio de eficiencia energética?
- c. ¿Cuál es la operación óptima del sistema eléctrico de distribución de la operación minera?

## **1.2. Justificación**

### **1.2.1. Justificación Técnica**

Día a día el desarrollo industrial minero, requiere un uso eficiente de sus recursos, principalmente energía eléctrica, esto es lograr la misma producción con la menor cantidad de energía posible, debido a la gran cantidad de equipos que tiene la operación minera, en este trabajo, el análisis se realizó con software especializado.

### **1.2.2. Justificación económica**

El conocer en qué estado se encuentra un sistema eléctrico de distribución es el punto de partida para que se logre un ahorro económico con eficiencia energética, además de mejorar la competitividad de la operación minera.

### **1.2.3. Justificación social**

Con una minería responsable en lo energético y ambiental, aportara desarrollo sostenible principalmente a las comunidades aledañas a la operación y al resto del país.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Formular las mejores opciones de inversión con el estudio de eficiencia energética, para reducir el gasto final en la factura de energía eléctrica de la mina Lagunas Norte, las mejores opciones se seleccionaran con un criterio de payback menor a 3 años.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- a. Conocer el estado actual del sistema eléctrico de distribución de la operación minera Lagunas Norte de Barrick, y determinar el consumo de energía de mayor incidencia por áreas.
- b. Determinar el impacto económico por medio de indicadores (VAN, TIR, Payback) y medio ambiental (toneladas de CO<sub>2</sub>) que tuvo el estudio de eficiencia energética en la operación minera, para elegir las mejores opciones de inversión en eficiencia energética.
- c. Recomendar el estado más eficiente de operación del sistema eléctrico de la mina.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis General**

Conocer el estado de operación actual del sistema eléctrico de distribución de la operación minera y hacer un estudio de eficiencia energética, reducirá el gasto final en la factura de energía eléctrica.

### 1.4.2. Hipótesis Específica

- a. Conocer el estado actual del sistema eléctrico de distribución de la operación minera Lagunas Norte, así como el consumo de energía de mayor incidencia por áreas, ayuda a mostrar deficiencias en el sistema y es la línea base del estudio de eficiencia energética,
- b. Determinar el impacto económico y ambiental del estudio de eficiencia energética en la operación minera Lagunas Norte, sirve para elegir las mejores opciones de inversión en eficiencia energética.
- c. Conociendo el estado actual del sistema eléctrico de la operación minera, se puede recomendar el estado de operación más óptimo del sistema.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Cañazaca Limachi, Ramos Gomez, & Jamachi Espillico (2013) realizaron un estudio de consumo de energía eléctrica de una planta minera, para su posterior implementación con tecnología eficiente, se realizó un listado de todos los equipos eléctricos considerando los datos de placa y el estado de las mismas, también con la frecuencia que estos se ponen en funcionamiento durante el periodo de producción. Posteriormente los parámetros de funcionamiento se determinaron con la ayuda de instrumentos de medida, haciéndose el análisis de consumo eléctrico, para determinar los aspectos que serán necesarios implementar posteriormente, también se analizó la facturación eléctrica de la empresa, el tipo de tarifa en el que se encuentra, y proyectar las posteriores adquisiciones de equipos, así como: motores de alta eficiencia, banco de condensadores, luminarias, variadores de velocidad, controladores de máxima demanda, equipos de protección de motores, equipos de control y automatización. Las recomendaciones que indica el autor para mejorar la eficiencia energética en una planta minera son, la corrección del factor de potencia, la implementación de motores de alta eficiencia, dar un seguimiento constante a las tomas de datos, el uso de la energía eléctrica de forma programada de modo que no se arranquen motores simultáneamente, el uso de los analizadores de redes para validar la información.

El Ministerio de Energía y Minas (2008), realizó una guía titulada “Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético - MINERIA METALICA” dando una serie de pautas que deben de seguir las operaciones mineras, en sus equipos como motores, bombas, compresores, iluminación, sistema eléctrico, indicando que es necesario un análisis y diagnóstico energético de línea base que captura y describe el estado del sistema energético en el momento de su

desarrollo. Es importante anotar que existen servicios con características dinámicas que pueden producir variaciones en el diagnóstico dependiendo del momento de su elaboración. Lo importante es que el diagnóstico establezca una línea base contra la cual se deberán evaluar los efectos e impactos de posibles mejoras a proponer e implementar. El establecimiento de la línea de base permite evaluar el impacto de las recomendaciones asociadas con buenas prácticas de mínima inversión y mejoras tecnológicas con grado de inversión orientadas a reducir costos de operación y mejorar la calidad del servicio. La línea base deberá estar expresada en forma cuantitativa y ser consistente con la situación real del sistema energético a efectos de comparación en un período determinado. Esto resulta de particular importancia para análisis relacionados con protocolos de medición y verificación en proyectos de uso eficiente de la energía que son financiados a través de mecanismos de contrato por desempeño, y llegando a los siguientes resultados y conclusiones:

El consumo de energía en Mineras Metálicas es significativo en energía eléctrica. Las oportunidades de ahorro de energía se pueden clasificar en buenas prácticas y en reemplazo de equipos que requieren un grado de inversión. En el caso de las buenas prácticas, las recomendaciones estarán asociadas con mínima inversión y podrán en algunos casos ser implementadas por el propio personal de la planta. En el caso de reemplazo de equipos que requieren un grado de inversión, las recomendaciones estarán asociadas con retornos de inversión, de preferencia menores a 1 ó 3 años, que podrá requerir asesoría especializada para su implementación. Los porcentajes esperados de ahorro de energía pueden variar de una Minera metálica a otra, dependiendo de las características del proceso y de la antigüedad de sus equipos. A fin de promover el uso eficiente de la energía se recomienda la conformación de un comité el cual deberá estar presidido por un representante de la gerencia y en el cual

deberán estar debidamente representados las áreas de finanzas, siendo deseable incorporar también a las áreas de mantenimiento y recursos humanos. En el sector minería metálica del país, se observa un fuerte incremento en las actividades productivas y en el consumo de energía. Por otro lado, existen minas con equipos de tecnología moderna mientras que otras tienen aún un margen importante para implementar medidas de ahorro de energía y el uso de tecnologías de alta eficiencia. Es recomendable empezar por las acciones relacionadas con buenas prácticas con el objetivo de motivar a todos los involucrados en la formulación de ideas e implementación de proyectos relacionados con el uso eficiente de la energía.

Leiva, Rodriguez, & Begazo (2013) en su trabajo titulado “Utilización de Medidores Inteligentes para la Gestión de la Energía” hace hincapié en la medición de variables que puedan traer problemas de calidad de energía, indicando que el primer paso para ahorrar energía y mejorar los procesos operativos es la medición de los parámetros eléctricos más importantes. Los medidores inteligentes ayudan a obtener una visión global del suministro de energía, además de controlar la calidad de energía de acuerdo con las normas generales vigentes, de esta manera se puede mejorar la relación coste-eficacia de energía dentro de una empresa. La capacidad de estos analizadores conjuntamente con el software que nos permite la supervisión en tiempo real de la red eléctrica, ya sea desde una computadora o a través de una red de área local. También brinda un procedimiento de implementación de una gestión de eficiencia energética eléctrica, el cual se subdivide en los siguientes: Auditoría energética eléctrica, implementación del sistema de monitoreo y control automáticos de los consumos de electricidad, implantación del sistema de gestión mensual de eficiencia energética eléctrica.

Marchais (2007) desarrollo un trabajo titulado “Generando ahorros permanentes con Soluciones de Eficiencia Energética Activa” en cuyo documento pretende exponer el

cumplimiento de los objetivos establecidos en el Protocolo de Kioto en lo que respecta a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), que puede fallar a menos que se genere una política obligatoria de Eficiencia Energética Activa. La Eficiencia Energética Activa se define como la implementación de cambios continuos mediante medición, monitoreo y control del uso de la energía. Por otro lado, la Eficiencia Energética Pasiva se refiere a la implementación de medidas correctivas para evitar pérdidas de energía a través de retrofits, adquisiciones de equipos bajos en consumo, etc. Es indispensable aunque insuficiente, utilizar equipos y dispositivos que ahorren energía, como lámparas de bajo consumo. Pero, sin el control apropiado, estas medidas sólo mitigan los desperdicios de energía, en lugar de reducir el consumo energético y corregir los hábitos de consumo. Todo lo que consume energía - desde el consumo directo de electricidad a través de iluminación, calefacción y, los más significativos, los motores eléctricos; pero también el consumo en control de aire acondicionado, control de calderas, entre otras fuentes - deben atenderse de manera activa si se quieren obtener ahorros significativos de manera sostenida. Esto incluye un cambio de conciencia en las personas sobre la utilización de la energía y el impacto que ésta tiene en el medio ambiente, con la finalidad de lograr cambios perceptibles en sus hábitos de consumo, tanto en el trabajo como en el hogar e industrial.

Según AChEE (2013), la norma ISO 50001, Energy Management Systems, establece los requisitos que debe tener un sistema de gestión de la energía en una organización para ayudarla a mejorar su desempeño energético, aumentar su eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, así como a incrementar sus ventajas competitivas dentro de los mercados en los que participan, todo esto sin sacrificio de la productividad. Esta norma fue publicada oficialmente el 15 de junio de 2011 por la Organización Internacional para

la Estandarización (ISO). Fue elaborada por un comité de expertos de más de cuarenta países.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Eficiencia energética (EE).**

*“El principio conceptual de la Evaluación Energética (EE) es el balance de energía, este se basa esencialmente en determinar la energía consumida y las pérdidas en cada componente del proceso”*(como cita Mamani Forocca, 2017).

Según Poveda (2007), la eficiencia energética como concepto, agrupa acciones que se toman tanto en el lado de la oferta como de la demanda, sin sacrificar el bienestar ni la producción, permitiendo mejorar la seguridad del suministro. Logrando, además, ahorros tanto en el consumo de energía como en la economía de la población en general. Simultáneamente se logran reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoras en las finanzas de las empresas energéticas.

### **2.2.2. Instrumentos de medición.**

#### **2.2.2.1. ¿Qué es medir?**

*“Es comparar una cantidad desconocida que queremos determinar y una cantidad conocida de la misma magnitud, que elegimos como unidad. Al resultado de medir lo llamamos Medida y da como producto un número (cuantas veces lo contiene) que es la relación entre el objeto a medir y la unidad de referencia (unidad de medida). O sea que estamos comparando la cantidad que queremos determinar con una unidad de medida establecida de algún sistema, por ejemplo cierta longitud comparada con cuantos milímetros equivale, una determinada corriente eléctrica con cuantos amperes, cierto peso con cuantos gramos, etc. Cuando medimos algo se debe hacer con gran cuidado, para evitar alterar el sistema que observamos, teniendo en cuenta que las medidas se*



*realizan con algún tipo de error, debido a imperfecciones del instrumento o a limitaciones del medio, errores experimentales, etc.”(Física.RU, 2012).*

#### **2.2.2.2. Sistema internacional (S.I.)**

*“Este nombre se adoptó en el año 1960 en la XI Conferencia General de Pesos y Medidas, celebrada en París buscando en él un sistema universal, unificado y coherente que toma como Magnitudes fundamentales: Longitud, Masa, Tiempo, Intensidad de corriente eléctrica, Temperatura termodinámica, Cantidad de sustancia, Intensidad luminosa. Toma además como magnitudes complementarias: Angulo plano y Angulo sólido.” (Wikipedia, 2015).*

#### **2.2.2.3. Medición de un sistema eléctrico**

De acuerdo a UNAM (2010), se entiende por medición de un sistema eléctrico a la operación de un conjunto de diferentes aparatos conectados a los secundarios de los transformadores de instrumentos de corriente y potencial, que miden las magnitudes de los diferentes parámetros eléctricos de las instalaciones de alta y baja tensión, así como de los dispositivos auxiliares de la subestación de que se trate.

En un sistema eléctrico es importante conocer; la corriente (I), la tensión (V), frecuencia (f), F.P., potencia activa (KW) y reactiva (KVAR), energía consumida (KW-h), etc.

#### **2.2.2.4. Amperímetro**

Según Zaiger (2011) Son aparatos para medir la intensidad de corriente que circula por las líneas, cables, bancos de transformadores, alimentadores, etc.

Pueden ser de tipo electromagnético, electrodinámico o digital. Los dos primeros se basan en el principio de repulsión de dos imanes de igual polaridad, el tercero utiliza un circuito electrónico y en lugar de escala utilizan números luminosos formados por diodos emisores de luz. Para realizar la medición se realiza en serie con el circuito.

Figura 2.1 Amperímetro digital tipo pinza



Fuente: Mexbusa.com (2015)

#### 2.2.2.5. Voltímetro

Según Velasquez (2010), son aparatos que miden diferencia de potencial, ya sea en corriente alterna (CA) o corriente continua (CC), en voltios, de los diferentes circuitos de una instalación. Para realizar la medición se debe realizar en paralelo.

Figura 2.2 Voltímetro analógico



Fuente: electronicaymas.com (2016)

#### 2.2.2.6. Frecuencímetro

Según Velasquez (2010), el frecuencímetro es diseñado para medir y presentar en forma digital o analógica una variable de frecuencia de la corriente eléctrica. Es importante tener la frecuencia adecuada para la que fueron diseñados los diferentes dispositivos conectados al sistema.

Salirse de éste rango de operación puede ser motivo de deterioro de los mismos. Las cargas Inductivas o capacitivas, los motores sincrónicos, etc, dependen de un suministro de energía con la frecuencia correcta.

Figura 2.3 Frecuencímetro analógico



Fuente: promelsa.com.pe (2014)

#### 2.2.2.7. Medidores de Factor de Potencia (F.P.)

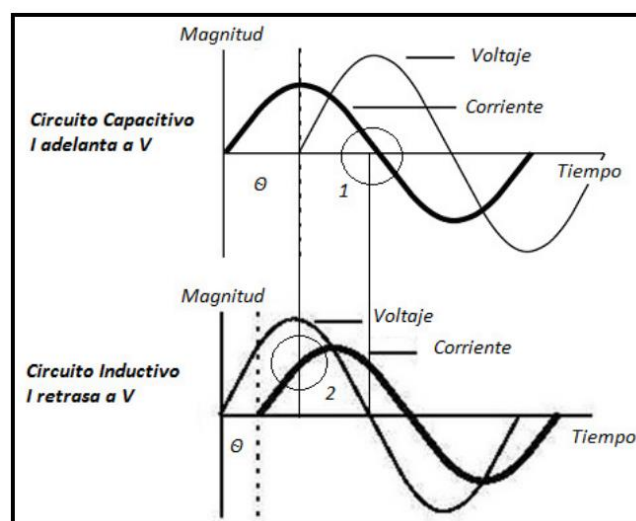
De acuerdo con MOTORTICO (2014), el factor de potencia mide el desfase temporal que existe entre el voltaje  $V$  y la corriente  $I$ . Por definición, siempre el voltaje se toma como referencia, y se coloca en el origen ( $t=0$ ). En este sentido, hay tres posibilidades:

- Que NO exista desfase entre  $V$  e  $I$ , es decir ambas señales se comportan igual y cruzan por cero en el mismo instante, llegan al máximo positivo y máximo negativo en el mismo momento. Este es el caso de las resistencias, que tiene un factor de potencia de uno ( $FP=1$ ).
- Que  $I$  ADELANTA a  $V$ , es decir alcanza los máximos positivos y negativos antes que el voltaje. Este es el caso de las cargas capacitivas, porque lo primero que aparece en un capacitor es la corriente, el voltaje se retrasa en establecerse, por ser creado en forma de campo eléctrico. El factor de potencia es menor a uno, en adelanto ( $FP < 1$ , en adelanto).
- Que  $I$  RETRASE a  $V$ , esto es que el voltaje sea el que llegue a los máximos positivos y negativos antes que la corriente. Este es el caso de las cargas inductivas, ya

que el voltaje se establece más rápido, porque la corriente no puede cambiar tan rápido en un inductor, al ser relacionado con el campo magnético. El factor de potencia es menor a uno, en atraso ( $FP < 1$ , en atraso). Siguiendo este análisis, en circuitos de CD el concepto del factor de potencia no tiene sentido aplicarlo, no es posible definirlo.

La siguiente figura muestra el caso de cargas capacitivas primero, y abajo cargas inductivas.

Figura 2.4 Desfase de corriente respecto a tensión



Fuente: motortico.com (2013)

La potencia activa se calcula como:  $P = V * I * \cos\theta$ . El término  $\cos\theta$  se define como Factor de Potencia, y por ser una función Coseno, puede alcanzar valores entre 0 y 1. Para diferenciar entre cargas Inductivas y Capacitivas se agrega la palabra: Adelanto o Atraso, como se explicó antes. Sin embargo, el IEEE también usa el signo como definición de adelanto o atraso. Para el caso de motores la convención es la siguiente:

- Cargas Resistivas:  $FP = 1$ .
- Cargas Inductivas:  $FP < 1$  Negativo. Ejemplo:  $FP = -0.8$ , equivale a 0.8 en atraso.
- Cargas Capacitivas  $FP < 1$  Positivo. Ejemplo:  $FP = 0.8$ , equivale a 0.8 en adelanto.

La siguiente figura muestra un medidor de factor de potencia, donde se aplican estas consideraciones. Se aclara: LAG es en inglés Retrasado; y LEAD Adelantado.

Figura 2.5 Frecuencímetro analógico

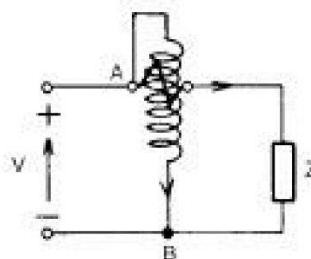


Fuente: motortico.com (2014)

#### 2.2.2.8. Vatímetro

Los vatímetros son aparatos destinados a medir la potencia activa consumida entre dos puntos A y B de un circuito eléctrico (Fig. 6). Los vatímetros pueden ser: electrodinámicos, de inducción, térmicos y digitales. (UCO, 2012)

Figura 2.6 Circuito eléctrico referencial de medida de un vatímetro



Fuente: uco.es (2012)

#### 2.2.2.9. Varímetro

Según Zaiger (2011), se utiliza para la medición de potencia reactiva en un circuito con o sin intensidad sinusoidal. Existen varias versiones para corriente alterna monofásica y trifásica a 3 y 4 hilos, con cargas tanto equilibradas como desequilibradas.

Figura 2.7 Varimetro



Fuente: celsaspain.com (2011)

#### 2.2.2.10. Transformador de medida

*“Transformadores de medida son transformadores que convierten corrientes y tensiones de manera proporcional y en fase en corrientes y tensiones medibles y normalizadas. Ellos pueden alimentar instrumentos de medición, contadores y/o relés de protección. Además, las instalaciones de medición y/o protección conectadas están aisladas de los elementos de la planta bajo tensión.”* (RITZ, 2011)

#### 2.2.2.11. Transformador de corriente

Según RITZ (2011), los transformadores de corriente están contruidos para convertir la corriente primaria asignada que circula por el arrollamiento primario. Por peligro de sobretensión en los bornes secundarios, el arrollamiento secundario nunca debe dejarse abierto.

Los aparatos secundarios se conectan en serie. Los transformadores de corriente pueden ser equipados con más de un arrollamiento secundario. Los núcleos correspondientes están separados de manera magnética y pueden ser provistos de diferentes datos características para medida y/o protección

#### 2.2.2.12. Transformador de tensión

Según ANDI (2014) los transformadores de tensión tienen un sólo núcleo de hierro con el arrollamiento secundario aplicado sobre él.

Si fuese necesario, los transformadores unipolares aislados pueden ser equipados con un arrollamiento adicional para el registro de cortocircuitos a tierra.

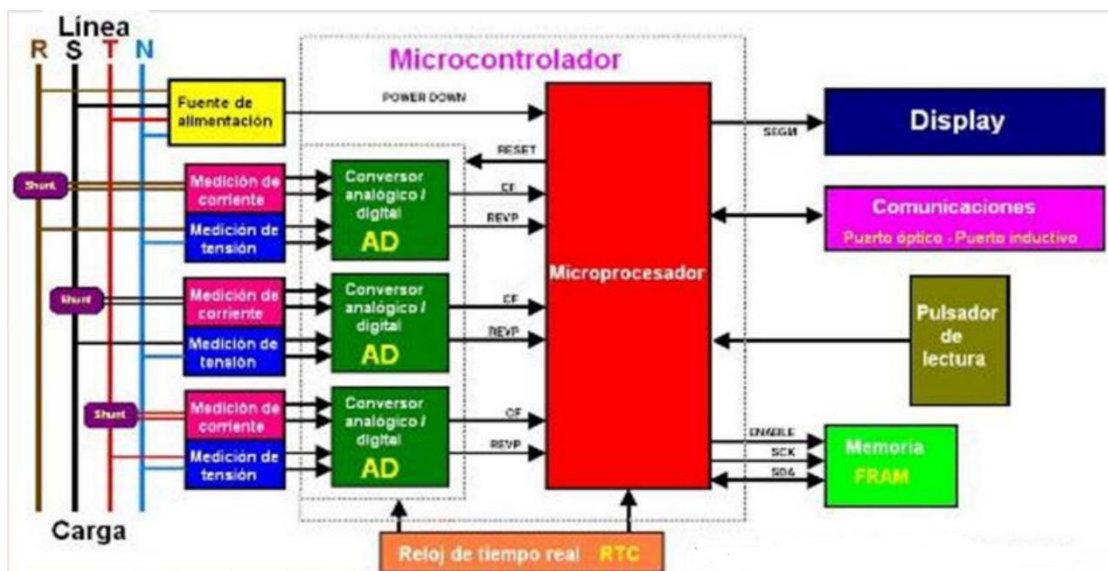
El borne del arrollamiento primario (N) está puesto a tierra en la caja de bornes y no debe ser retirado durante el funcionamiento de la instalación.

### 2.2.2.13. Medidor de energía

Según OSINERGMIN (2011), El medidor de energía eléctrica o contador eléctrico es el instrumento de medición, más difundido en el mundo. Se trata de un dispositivo que mide el consumo de energía eléctrica de un circuito o un servicio eléctrico, que pueden ser directos, indirectos, analógicos, híbridos, electrónicos y pueden medir distintos parámetros eléctricos, como energía activa (KWh), energía reactiva (KVAR), armónicos, etc.

A continuación se muestra el proceso básico que toman las señales en un medidor de energía.

Figura 2.8 Proceso de la señal en un medidor de energía



Fuente: Osinergmin (2011)



#### 2.2.2.14. Analizador de redes

Según Lopez & Esparza, (2003) Tanto las empresas suministradoras de energía eléctrica como los usuarios finales (empresas) han estado insistiendo cada vez más en el concepto de calidad de la energía, que a su vez, se convierte en eficiencia energética. Las principales razones por las que es necesario estudiar los conceptos relacionados con la calidad de la energía son los siguientes:

Las cargas cada día son más sensibles a las variaciones de ciertos parámetros o variaciones en los sistemas del suministro de energía eléctrica.

- Se ha incrementado el concepto de mayor eficiencia en los sistemas eléctricos, lo cual ha traído como consecuencia que las cargas más eficientes incrementen los niveles de armónicas principalmente.

- Una mayor atención de los usuarios finales a la calidad de energía eléctrica como son interrupciones de servicio, transitorios por maniobras, bajas o elevaciones de voltaje, etc.

Lo anterior, plantea la necesidad de identificar estos problemas entre los suministradores y usuarios de energía eléctrica en forma grupal, ya que anteriormente el suministrador, usualmente atribuye los problemas a anomalías en la instalación del usuario, mientras que el usuario, normalmente asocia los problemas a deficiencias en las redes de suministro. Por lo anterior, el conocimiento de las características de la calidad de la energía eléctrica de los sistemas eléctricos del suministrador y del usuario es esencial para establecer acciones económicas, tanto por parte del suministrador como del usuario, que permitan el control de los efectos no deseables.

*“El analizador de redes eléctricas va enfocado principalmente para que pueda servir como una herramienta para el estudio de los problemas de calidad de la energía en sistemas eléctricos, para esto es necesario conocer los elementos relacionados con la*



*calidad de la energía eléctrica, como son conceptos básicos, efectos de las variaciones de voltaje en los equipos sensibles, el estudio de las armónicas y sus efectos, los problemas de los transitorios de voltaje, la aplicación de capacitores en los sistemas eléctricos, relacionados con las redes de tierra y la conexión a tierra de equipos sensibles.” (Lopez & Esparza, 2003)*

### **2.2.3. Transformador**

*“Un transformador es un dispositivo que cambia potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna a otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas no están (usualmente) conectadas en forma directa. La una conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo.*

*Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna y el segundo quizás el tercero suministra energía eléctrica a las cargas. El devanado del transformador que se conecta a la fuente de potencia se llama devanado primario o devanado de entrada y el devanado que se conecta a la carga se llama devanado secundario o devanado de salida. Si hay un tercer devanado en el transformador, este se llama devanado terciario.” (Chapman, 2001).*

#### **2.2.3.1. Eficiencia en transformadores**

Según Frias, Gonzalez, et. al. (2016), el conocimiento de la eficiencia de cualquier máquina, dispositivo o sistema tiene una gran importancia por el valor económico que ello reporta, tanto desde el punto de vista del costo de operación como del ambiental. En general, la eficiencia de una máquina, normalmente indicado con la letra griega eta  $\eta$ , está dada por el cociente de las potencias de salida y de entrada.

En el caso particular de los transformadores se está en presencia de una máquina de características excepcionales, ya que su eficiencia es muy elevada y requieren muy bajo mantenimiento; todo ello debido a su condición de máquina estática. En las máquinas eléctricas como en otros casos también ocurre que las de mayor potencia son las más eficientes. Esto se puede demostrar analizando cómo varían las pérdidas y cómo lo hace la potencia de la máquina. Para cálculos de la eficiencia de un transformador de potencia se considera que las pérdidas en estas máquinas eléctricas son fundamentalmente de dos tipos, las cuales son las pérdidas en el núcleo y en el cobre. Las primeras pérdidas son debidas a los efectos de histéresis y por corrientes parásitas en el núcleo, mientras que las segundas son debidas al efecto Joule en los devanados; ambas pérdidas se presentan físicamente en forma de calentamiento en el transformador, por lo que son pérdidas de potencia activa y son medidas en Watts. Es importante mencionar que en años recientes los principales fabricantes de transformadores de potencia alrededor del mundo están orientando sus estudios de investigación en la minimización de las pérdidas antes mencionadas, por lo que se han estado construyendo los núcleos de los transformadores con distintos materiales que presentan menos pérdidas en el núcleo, ya sea en condiciones de vacío o de plena carga. Además, se está trabajando en la reducción a lo mínimo permisible de las pérdidas en el cobre de los devanados, llegando incluso a realizar estudios en los que se considera la posibilidad de incluir superconductores en los transformadores de potencia principalmente, ya que este tipo de máquinas eléctricas permite el uso de tal tecnología por el tamaño del tanque contenedor. De acuerdo a lo anteriormente mencionado, la eficiencia de un transformador de potencia se modela matemáticamente como una función que depende de dos variables, las cuales representan las pérdidas en el cobre y en el núcleo.

### **2.2.3.2. Minimización de pérdidas en el núcleo y el cobre.**

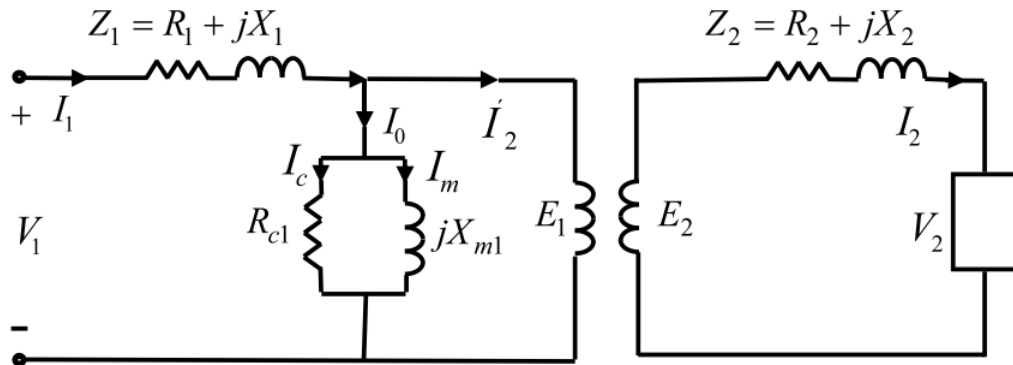
De acuerdo con Frias et al. (2016) la minimización de pérdidas en el núcleo de transformadores de potencia ha llevado a los fabricantes de estas máquinas a considerar distintos materiales para la construcción de dicho elemento. El primer material considerado eficiente en la fabricación de núcleos de transformadores de potencia fue el acero al silicio y hasta hace poco el material más utilizado en la fabricación de los núcleos de los transformadores era el acero al silicio de grano orientado, sin embargo, hoy en día los transformadores de potencia construidos con núcleo amorfo son los más eficientes en el mercado, ya que el núcleo amorfo tiene una estructura aleatoria, una isotropía magnetocristalina, baja coercitividad y facilita la magnetización y desmagnetización del núcleo, disminuyendo con ello las pérdidas en el núcleo. La eficiencia de un transformador de potencia, además de las pérdidas en el núcleo, se ve afectada por las pérdidas en el cobre de los devanados, es por eso que es importante minimizarlas lo más posible. Una de las maneras de minimizar las pérdidas en el cobre de los devanados y así evitar el calentamiento del transformador, es utilizar materiales con la mayor conductividad posible (cobre, cobre-plata o incluso superconductores). En estudios posteriores se ha comprobado que el 80% de las pérdidas en el transformador de potencia es en el cobre (Efecto Joule). Algunas de las características de los superconductores son que tienen una resistencia nula a baja temperatura, tienen gran resistencia eléctrica en temperatura ambiente y son de gran rentabilidad.

### **2.2.3.3. Eficiencia del transformador a partir de su circuito equivalente.**

De acuerdo con Frias et al. (2016), el circuito equivalente típico por fase de un transformador de potencia trifásico es mostrado en la Figura 9, el cual tiene una relación de transformación  $N1:N2$ , donde  $N1$  y  $N2$  son el número de vueltas en el lado primario y

secundario, respectivamente, junto con todos los elementos que forman parte de un transformador.

Figura 2.9 Circuito equivalente por fase de un transformador de potencia trifásico



Fuente: Frias, et al. (2016)

En virtud de que la capacidad de un transformador está basada en su potencia de salida, la eficiencia del transformador de potencia trifásico es obtenida como sigue.

$$\eta = \frac{(n)(S)(FP)}{(n)(S)(FP) + (n^2)(P_{cu}) + P_c} \dots\dots\dots(2.1)$$

Donde S, Pcu y Pc son las pérdidas en el cobre y en el núcleo, las cuales son dadas por las Ecuaciones (2), (3) y (4), respectivamente. FP representa el factor de potencia de la carga que alimenta el transformador y n es el factor de cargabilidad.

$$S = 3V_2I_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P_{cu} = 3R_{e2}I_2^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P_c = \frac{V_2^2}{R_c} \dots\dots\dots(2.4)$$

Se han realizado estudios acerca de la eficiencia de un transformador de potencia y se ha comprobado analíticamente que la máxima eficiencia se presenta cuando las pérdidas en el núcleo y las pérdidas en el cobre son exactamente iguales.

**2.2.3.4. Determinación de la máxima eficiencia de un transformador.**

La expresión de la eficiencia del transformador (1) se simplifica si se considera un factor de cargabilidad del 100% (n=1), por lo que dicha expresión se puede reescribir como.

$$\eta = \frac{(3V_2 I_2)(FP)}{(3V_2 I_2)(FP) + 3R_2 I_2^2 + V_2^2 / R_c} \dots\dots\dots(2.5)$$

La determinación de la máxima eficiencia es importante, ya que conviene que el transformador trabaje siempre cerca de ese punto. Para determinar este punto máximo es necesario utilizar la teoría de máximos y mínimos, por lo que es necesario obtener la derivada de la Ecuación (5) e igualarla a cero.

$$\partial \left( \frac{(3V_2 I_2)(FP)}{(3V_2 I_2)(FP) + 3R_2 I_2^2 + V_2^2 / R_c} \right) / \partial I_2 = 0 \dots\dots\dots(2.6)$$

Resolviendo la ecuación anterior se obtienen las siguientes expresiones para I<sub>2</sub>, en la cual la eficiencia del transformador de potencia trifásico es máxima.

$$I_2 = \left[ \frac{(\sqrt{3} V_2 \sqrt{R_c R_{e2}})}{3R_c R_{e2}}, \frac{(-\sqrt{3} V_2 \sqrt{R_c R_{e2}})}{3R_c R_{e2}} \right] \dots\dots\dots(2.7)$$

Claramente, en la ecuación (7) la expresión positiva es la que representa una solución real, por lo que la expresión negativa es despreciada. Al sustituir el valor de la corriente I<sub>2</sub> en las pérdidas en el cobre se tiene.

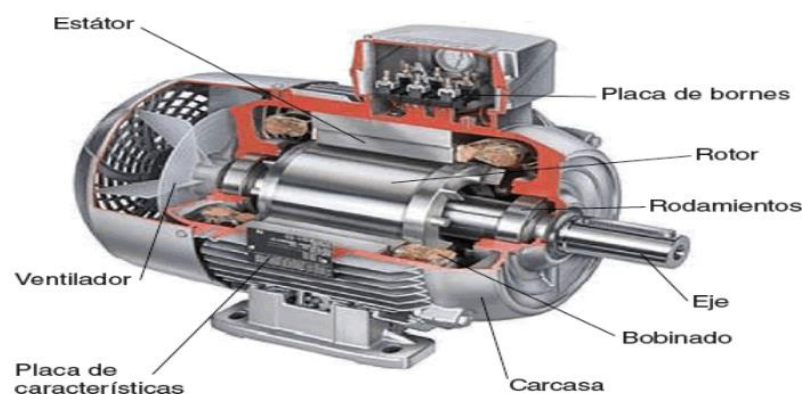
$$P_{cu} = 3R_{e2} \left( \frac{\sqrt{3} V_2 \sqrt{R_c R_{e2}}}{3R_c R_{e2}} \right)^2 = \frac{V_2^2}{R_c} \dots\dots\dots(2.8)$$

Comparando las pérdidas en el cobre dadas por (8) con las pérdidas en el núcleo del transformador, Ecuación (4), se puede concluir que son iguales, por lo tanto se infiere que la máxima eficiencia de un transformador trifásico de potencia se presenta cuando las pérdidas en el núcleo y en el cobre, son iguales.

#### 2.2.4. Motor eléctrico

“Los motores eléctricos son dispositivos que transforman energía eléctrica en energía mecánica. El medio de esta transformación de energía en los motores eléctricos es el campo magnético. Existen diferentes tipos de motores eléctricos y cada tipo tiene distintos componentes cuya estructura determina la interacción de los flujos eléctricos y magnéticos que originan la fuerza o par de torsión del motor” (como cita Mamani Forocca, 2017).

Figura 2.10 Motor eléctrico

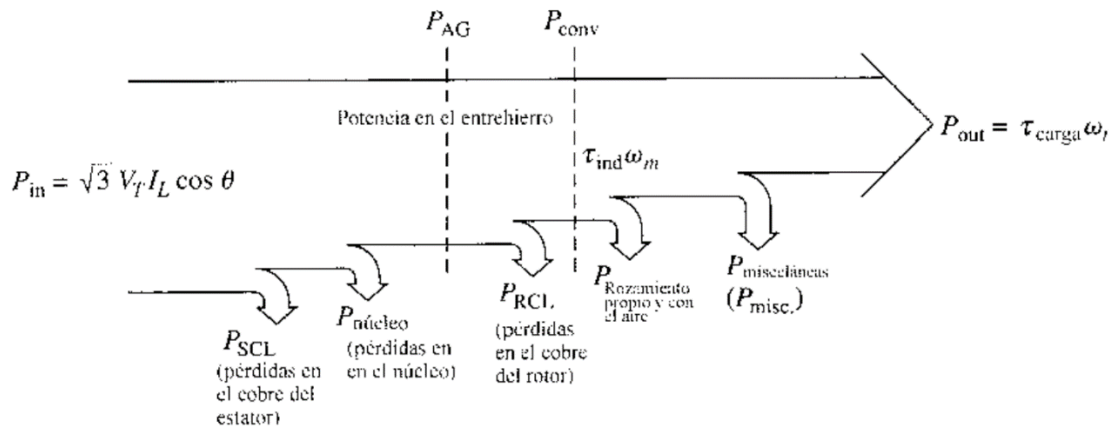


Fuente: M. Salvador, 3ra Edición (2006)

##### 2.2.4.1. Eficiencia en motores eléctricos de inducción.

Según Chapman (2001), un motor eléctrico de inducción se puede describir básicamente como un transformador rotante, su entrada es un sistema trifásico de voltajes y corrientes. En un transformador normal, la salida es potencia eléctrica desde los devanados secundarios. Los devanados secundarios de un motor de inducción (rotor) están cortocircuitados de tal forma que no existe salida eléctrica de los motores normales de inducción sino mecánica. La relación entre la potencia eléctrica de entrada y la potencia mecánica de salida de este motor se muestra en el diagrama de flujo de potencia de la figura 11.

Figura 2.11 Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción



Fuente: Chapman, 3ra Edición (2001)

La potencia de entrada al motor de inducción  $P_{in}$  se presenta en forma de voltajes y corrientes eléctricas trifásicas. Las primeras pérdidas encontradas en la quina son  $I^2R$  en los devanados del estator (pérdidas en el cobre del estator  $P_{SCL}$ ). Luego, alguna cantidad de potencia se pierde por histéresis y por corrientes parasitas en el estator ( $P_{nucleo}$ ). La potencia remanente en este punto se transfiere al rotor de la máquina a través del entrehierro situado entre el rotor y el estator. Esta potencia es llamada potencia en el entrehierro  $P_{AG}$  de la máquina. Después que la potencia ha sido transferida al rotor, algo de ella se disipa como pérdidas  $I^2R$  (pérdidas en el cobre del rotor  $P_{RCL}$ ) y la restante se convierte de potencia eléctrica en mecánica ( $P_{conv}$ ). Por último, las pérdidas por rozamiento propio y por rozamiento con el aire y as pérdidas misceláneas  $P_{misc}$  se restan. La potencia restante es la de salida del motor  $P_{out}$ .

Según CNE-GT (2010), la eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Este es el concepto más importante desde el punto de vista del consumo de energía y del costo de operación de un motor eléctrico. La eficiencia se puede expresar de las siguientes maneras:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia Mecánica de salida}}{\text{Potencia Eléctrica que entra}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia Eléctrica que entra} - \text{Pérdidas}}{\text{Potencia Eléctrica que entra}} \dots\dots\dots(2.10)$$

El valor más alto de eficiencia sería la unidad, si acaso las pérdidas fueran cero, como lo indica la segunda expresión. Por ello los fabricantes de motores están haciendo innovaciones tecnológicas tendientes a disminuir las pérdidas al máximo posible y lo están logrando con un diseño mejorado empleando materiales de alta calidad y un mejor proceso de fabricación.

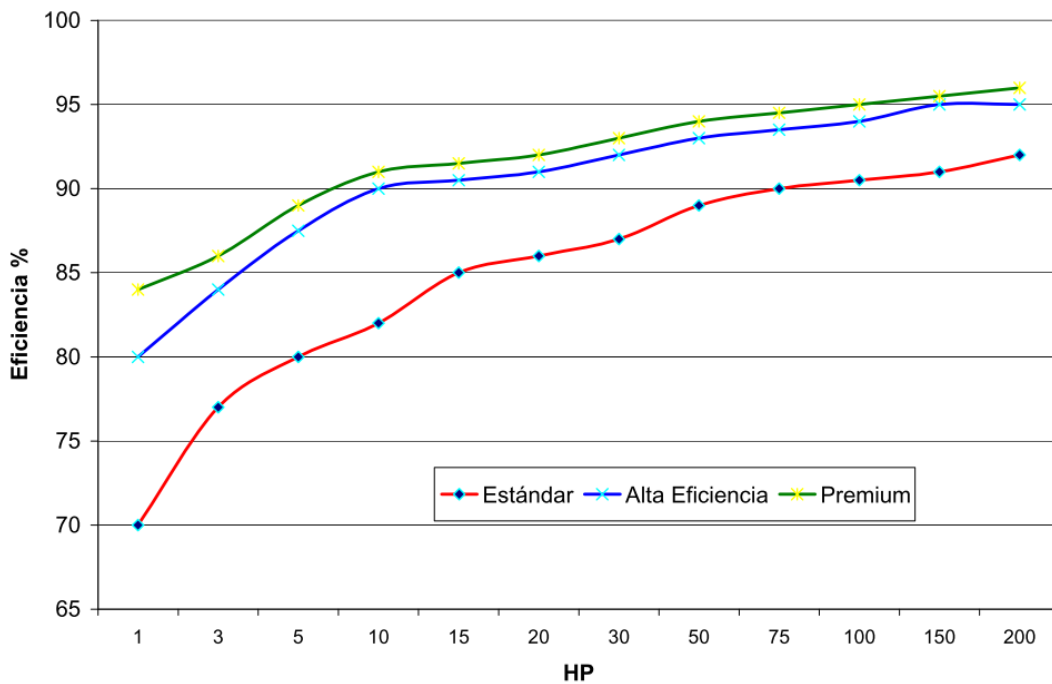
Conforme la eficiencia pueden considerarse tres géneros de motores eléctricos:

- Motores de Eficiencia Estándar
- Motores de Alta Eficiencia
- Motores de Eficiencia Premium

Los motores estándar no consideran la eficiencia como la principal cualidad, más bien privilegian la funcionalidad y precio, prácticamente los motores con más de 15 años podrían considerarse de eficiencia estándar. El concepto alta eficiencia surge en la década de los años noventa, como consecuencia de contrarrestar los altos precios de la energía y por la necesidad ya existente de hacer un uso eficiente y racional de la energía. La innovación de los Premium se da en la actual década con la pretensión de elevar aún más la eficiencia de los motores eléctricos, para ellos se ha perfeccionado el proceso de manufactura y se utilizan materiales muy superiores, ello acarrea que el diferencial en precio sea también más elevado.



Figura 2.12 Eficiencia vs potencia (HP) en motores eléctricos



Fuente: CNE-GT (2010)

**2.2.4.2. Factor de carga**

Según CNE-GT (2010), la potencia nominal de un motor eléctrico indica la potencia mecánica de salida o en el eje que es capaz de entregar el motor, el factor de carga es un índice que indica la potencia que entrega el motor cuando se encuentra ya en operación con relación a la que puede entregar. Así un motor de potencia nominal 40 HP que trabaja entregando solo 20 HP, estará trabajando al 50%.

$$\text{Factor de Carga} = \frac{\text{Potencia real entregada}}{\text{Potencia de placa del motor}} \dots\dots\dots(2.11)$$

**2.2.4.3. Factor de servicio**

Según ANDI (2014) El factor de servicio es un indicador de la capacidad de sobrecarga que puede soportar un motor eléctrico, como ejemplo el valor de 1.1 significa que el motor puede trabajar al 110%; sin embargo esto no quiere decir que tenga que trabajar continuamente a ese valor, el factor de servicio debe entenderse como una capacidad

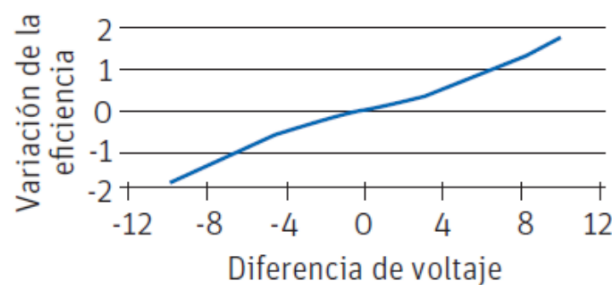
adicional que posiblemente se llegue a ocupar en muy raras ocasiones, de hecho los motores sobrecargados reciben mayor corriente eléctrica que la nominal, calentándose en mayor medida y reduciendo notablemente su vida útil, además de bajar la eficiencia de su operación.

$$\text{Potencia máxima en sobrecarga} = \text{Factor de Servicio} \times \text{Potencia del Motor} \quad \dots(2.12)$$

#### 2.2.4.4. Depreciación de la eficiencia en función a la diferencia de voltaje

De acuerdo a BID (2011), la reducción de la eficiencia en función de la diferencia de voltaje con respecto a la nominal en un motor eléctrico, es cuando el voltaje de alimentación medido presenta un desbalancee, habrá que aplicar el ajuste a la eficiencia indicado en la curva que se presenta en la Fig. 13.

Figura 2.13 Depreciación de la eficiencia en función a la diferencia de voltaje



Fuente: BID (2011)

#### 2.2.4.5. Depreciación en función al desbalance de voltaje

De acuerdo con BID (2011), la depreciación es la reducción porcentual de la eficiencia de un motor eléctrico en función del desbalance de voltaje. El desbalance de voltaje se calcula a partir de las mediciones de tensión entre fases, por medio de la siguiente ecuación:

$$DBV = \max((\max(V_{A-B}, V_{B-C}, V_{C-A}) - V_{prom}), (V_{prom} - \min(V_{A-B}, V_{B-C}, V_{C-A})))$$

Donde:

$D_{BV}$  = desbalance de voltaje (-).

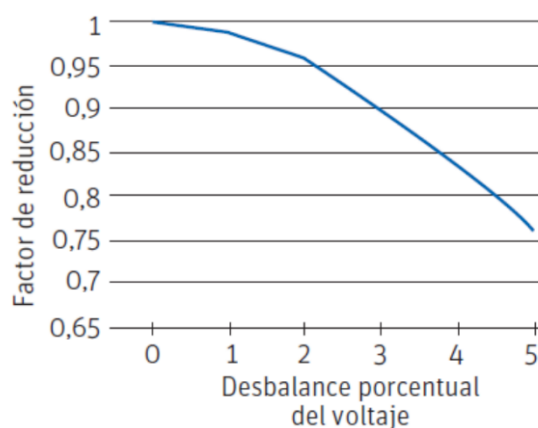
$V_{A-B}$  = tensión entre las fases A y B (V).

$V_{B-C}$  = tensión entre las fases B y C (V).

$V_{C-A}$  = tensión entre las fases C y A (V).

$V_{prom}$  = tensión promedio entre fases (V).

Figura 2.14 Depreciación en función al desbalance de voltaje



Fuente: BID (2011)

#### 2.2.4.6. Reducción de eficiencia en función al desbalance de corriente.

La reducción de eficiencia se realiza como indica BID (2011), el desbalance de corriente se calcula a partir de las mediciones de corriente por fase, por medio de la siguiente ecuación:

$$D_{BI} = \max((\max(I_A, I_B, I_C) - I_{prom}), (I_{prom} - \min(I_A, I_B, I_C)))$$

Donde:

$D_{BI}$  = desbalance de corriente (-).

$I_A$  = corriente de la fase A (A).

$I_B$  = corriente de la fase B (A).

$I_C$  = corriente de la fase C (A).

#### 2.2.4.7. Voltaje de alimentación diferente al nominal

La diferencia de voltaje de alimentación se evalúa de acuerdo a BID (2011), el valor de la tensión de alimentación diferente de la nominal se calcula en términos porcentuales de acuerdo con la siguiente expresión:

$$VDN = \left( \frac{V_{prom} - V_{placa}}{V_{placa}} * 100 \right)$$

Donde:

$VDN$  = diferencia porcentual entre el valor del voltaje de alimentación y el dato de placa del voltaje nominal (-).

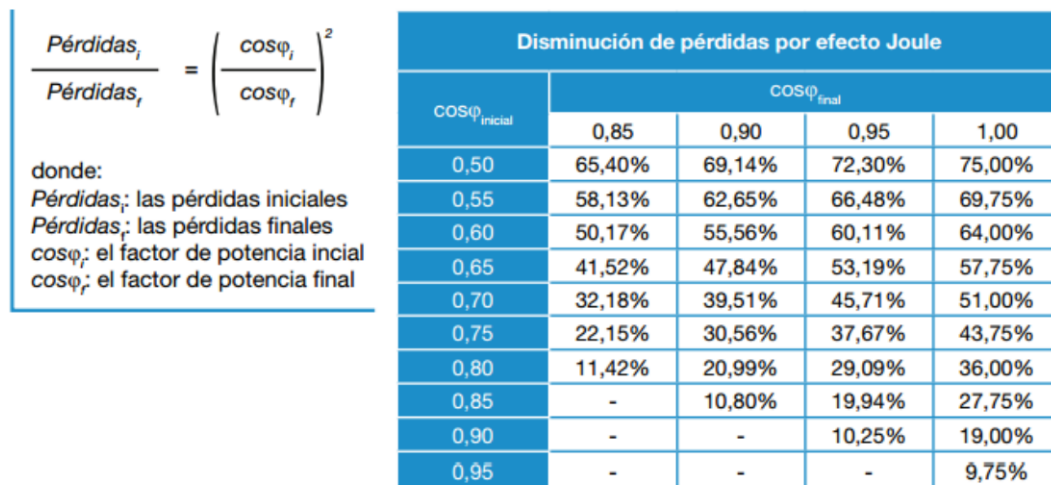
$V_{prom}$  = voltaje promedio entre fases (V).

$V_{placa}$  = valor de voltaje nominal de alimentación, indicado en la placa (V).

#### 2.2.4.8. Disminución de las pérdidas por efecto Joule

Si se sustituye la expresión de la intensidad de corriente en función de la potencia activa en la fórmula de las pérdidas por efecto Joule, se obtiene:

Figura 2.15 Disminución de pérdidas por efecto Joule



Fuente: Schneider Electric (2015)

#### 2.2.4.9. Compensación de potencia reactiva

Según Schneider Electric (2015) existen TIPOS DE COMPENSACIÓN, los condensadores pueden estar en 3 niveles diferentes:

##### COMPENSACIÓN GLOBAL.

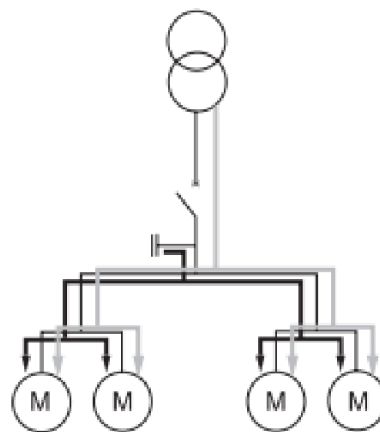
##### Ventajas

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Ajusta la necesidad real de la instalación kW al contrato de la potencia aparente (S en kVA). n Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

##### Observaciones

- La corriente reactiva (Ir) está presente en la instalación desde el nivel 1 hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto de Joule en cables no quedan disminuidas (kWh)

Figura 2.16 Compensación de motores en las salidas de BT



Fuente: Schneider Electric (2015)

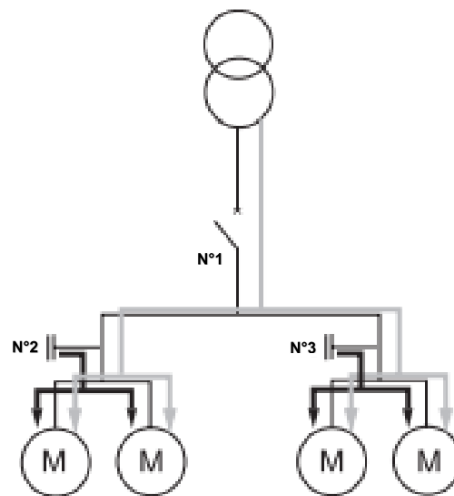
**COMPENSACIÓN PARCIAL.****Ventajas**

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza una parte de la instalación, la corriente reactiva no se transporta entre los niveles 1 y 2.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW)

**Observaciones**

- La corriente reactiva ( $I_r$ ) está presente en la instalación desde el nivel 2 hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se disminuyen (kWh).

Figura 2.17 Compensación parcial en motores



Fuente: Schneider Electric (2015)

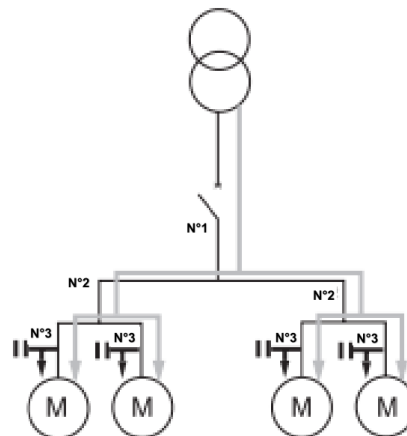
**COMPENSACIÓN INDIVIDUAL.****Ventajas**

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza toda la instalación eléctrica. La corriente reactiva  $I_r$  se abastece en el mismo lugar de consumo.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

**Observaciones**

- La corriente reactiva no está presente en los cables de la instalación.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se suprimen totalmente (kWh).

Figura 2.18 Compensación individual en motores eléctricos



Fuente: Schneider Electric (2015)

### 2.2.5. Variadores de Velocidad

Según Mayor Duque (2014), la mayoría de los motores están diseñados para funcionar a una velocidad constante y proporcionar una salida constante. Los variadores de velocidad (VSD) se utilizan para aumentar la eficiencia del proceso y permitir que los motores operen a una velocidad óptima según la condición de carga. Esto permite reducir el consumo eléctrico entre un 30%-60%. Actualmente, los VSD son los controladores más eficaces y de ahorro de energía en los procesos industriales donde se implementan los motores eléctricos. La instalación de VSD aumenta la eficiencia energética ahorrando el consumo de energía, mejorando el factor de potencia y la precisión del proceso, controlando la capacidad de velocidad entregada y permite un arranque suave. Otros beneficios de VSD incluyen la prolongación de la vida útil del equipo, mediante el ajuste de velocidad del motor para satisfacer los requisitos de carga. En general, el ahorro de energía se traduce en ahorro de costos y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. La medición y clasificación de eficiencia de energía del conjunto motor de inducción y variadores de velocidad (VSD) se convierte en factores importantes para reducir el consumo energético y las emisiones contaminantes.

De acuerdo con ANDI (2014), existen los siguientes tipos de variadores:



### Variadores mecánicos

- Variador de paso ajustable: este dispositivo emplea poleas y bandas en las cuales el diámetro de una o más poleas puede ser modificado.
- Variador de tracción: transmite potencia a través de rodillos metálicos. La relación de velocidades de entrada/salida se ajusta moviendo los rodillos para cambiar las áreas de contacto entre ellos y así la relación de transmisión.

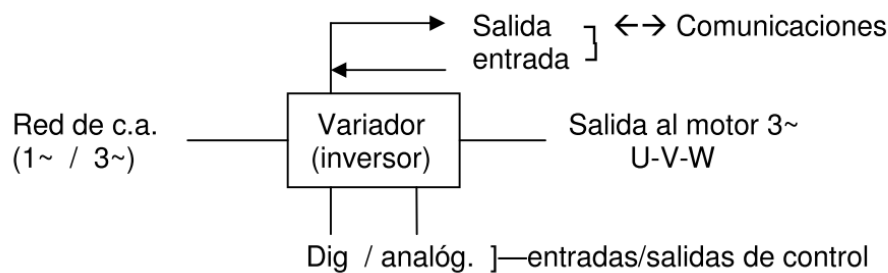
### Variadores eléctrico-electrónicos

- Variadores para motores de CC.
- Variadores de velocidad por corrientes de Eddy.
- Variadores de deslizamiento.
- Variadores para motores de CA (también conocidos como variadores de frecuencia).

#### 2.2.6. Variadores de frecuencia

De acuerdo con Sevillano (2011), se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula de ardilla). También se les suele denominar inversores (inverter) o variadores de velocidad.

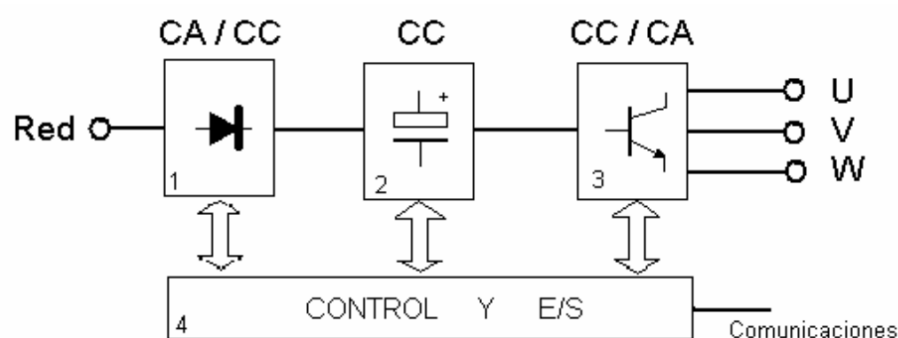
Figura 2.19 Flujo de señales que pasan por un variado



Fuente: Sevillano (2011)

- Red de suministro: Acometida de c.a., monofásica en aparatos para motores pequeños de hasta 1,5 kw (2 C.V. aprox), y trifásica, para motores de más potencia, hasta valores de 630 kw o más.
- Entradas y salidas (E/S ó I/O): Diferentes conexiones de entradas y salidas de control; pueden ser digitales tipo todo o nada (contactos, pulsadores, conmutadores, contactos de relé) o analógicas mediante valores de tensión (0...10 V o similares) e intensidad (4...20 mA o similares). Además puede incluir terminales de alarma, avería, etc.
- Comunicaciones: Estos dispositivos pueden integrarse en redes industriales, por lo que disponen de un puerto de comunicaciones, por ejemplo RS-232, RS-485, red LAN, buses industriales (Profibus...) o conexiones tipo RJ-45 o USB para terminales externos y ordenadores. Cada fabricante facilita el software de control, directo o mediante bus de comunicaciones. Que permitirá el control, programación y monitorización del variador (o variadores) en el conjunto de aparatos de control empleados.
- Salida: Conexión al motor, generalmente de tres hilos (U-V-W) para conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

Figura 2.20 Diagrama en bloques de un variador



Fuente: Sevillano (2011)

Donde, de acuerdo a la figura 20.

1. Rectificador: Partiendo de la red de suministro de c.a., monofásica o trifásica, se obtiene c.c. mediante diodos rectificadores.

2. Bus de continua: Condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran la c.c. rectificada, para obtener un valor de tensión continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.

3.- Etapa de salida: Desde la tensión del bus de continua, un ondulator convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salida variables. Como elementos de conmutación, se usan principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores (SCR), GTO... etc. Las señales de salida, se obtiene por diversos procedimientos como troceado, mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación senoidal mediante modulación por anchura de impulsos PWM.

4.- Control y E/S: circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación... y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Además se incluye el interfaz de comunicaciones con buses u otros dispositivos de control y usuario.

#### 2.2.6.1. Conceptos básicos sobre variadores para motor trifásico

- Velocidad (n): la velocidad en el eje de un motor asíncrono en rpm, depende del número de polos magnéticos del motor, y la frecuencia f (Hz), de la red de suministro:

$$n = 60 \frac{f}{2p}$$

Dónde:

n = velocidad en rpm

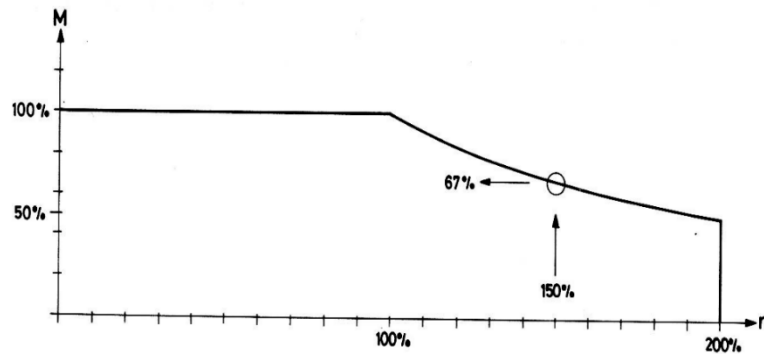
f = frecuencia de la red en Hz

2p = número de pares de polos del motor

- Sobre-velocidad: el variador puede proporcionar frecuencias de salida superiores a la de trabajo del motor, lo que le hace girar a mayor velocidad que la nominal.

La curva de par, para velocidad de trabajo mayor de la nominal, disminuye, de manera que con velocidad doble (200%) el par cae a la mitad del nominal. La sobre velocidad es útil en aplicaciones que no requieren mucho par, como por ejemplo sierras de disco, pero si altas velocidades. En estos casos es importante tener en cuenta las características de par y temperatura de trabajo del motor.

Figura 2.21 Sobre-velocidad de un motor



Fuente: Sevillano (2011)

- Par transmitido por el eje (par motriz): la fuerza de tracción del motor a través del eje, depende principalmente de las expresiones siguientes:

$$T = 9550 \frac{P}{n}$$

$$T = K \left( \frac{U}{f} \right)^2$$

Donde:

T = par motriz (también suele usarse M o Mm)

K y 9550 = constantes

U = tensión aplicada al inductor (estator)

f = frecuencia en Hz

P = potencia del motor en kW

n = velocidad (real) de giro del motor en rpm

Por otro lado, el flujo magnético en los polos del motor ( $\Phi$ ), depende de la tensión:

$$U = K \cdot \Phi \cdot f \quad \Rightarrow \quad \text{el flujo magnético:} \quad \theta = K \left( \frac{U}{f} \right)$$

Es decir, el par depende directamente del flujo magnético, por lo que para obtener el control del par, hay que operar sobre este parámetro; por ello, si tenemos en cuenta las relaciones de par y velocidad:

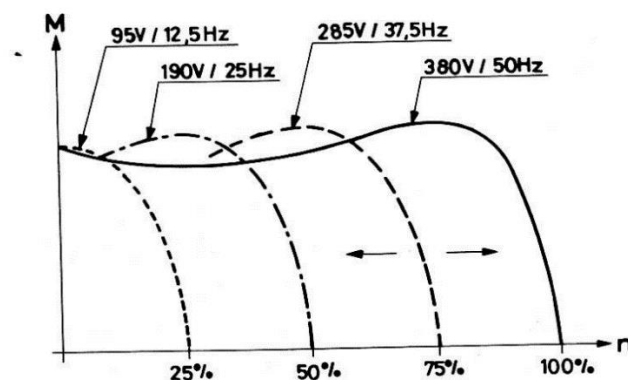
Par constante = flujo constante, en consecuencia:  $\boxed{\frac{U}{f} = cte}$

El factor  $U/f$  tiene especial importancia en la forma de configurar un variador, ya que de ahí dependerá el par motriz desarrollado por el motor, sin importar la velocidad de giro.

Además, de la primera expresión de  $T$ , vemos que el par es proporcional a  $U^2$ , de manera que si  $U/f$  es constante, el par dependerá de manera directa de la tensión:

$$T \propto U^2$$

Figura 2.22 Ejemplo de curvas par-velocidad para par constante



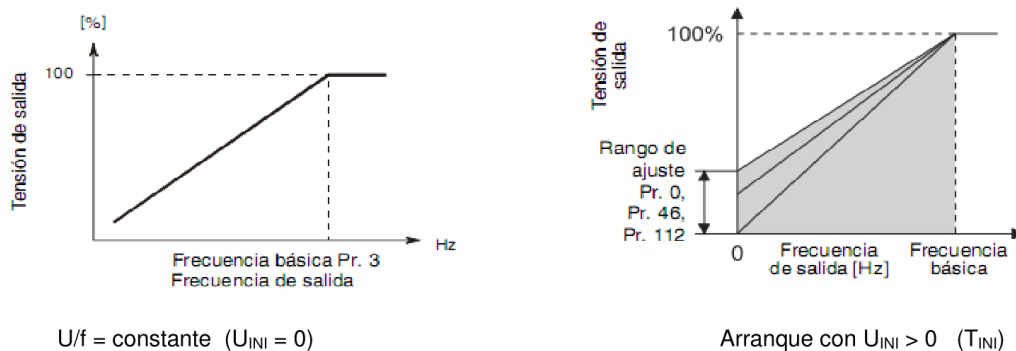
Fuente: Sevillano (2011)

Motor de 380V y 50 Hz, para diferentes velocidades:

$$\left. \begin{aligned} 380/50 &= 7,6 \\ 285/37,5 &= 7,6 \\ 190/25 &= 7,6 \\ 95/12,5 &= 7,6 \end{aligned} \right\} (U/f) = \text{constante}$$

- Tensión de arranque inicial: en el arranque de un motor con carga, es necesario aplicar un cierto par inicial mínimo, para garantizar que el motor empiece a girar. Esto se consigue, iniciando la marcha con un valor de tensión determinado  $U_{INI}$ , de acuerdo a las relaciones  $(U/f)$  y  $T_{INI}$  vistas en el apartado anterior:

Figura 2.23 Izq. Tensión de salida vs frecuencia



Fuente: Sevillano (2011)

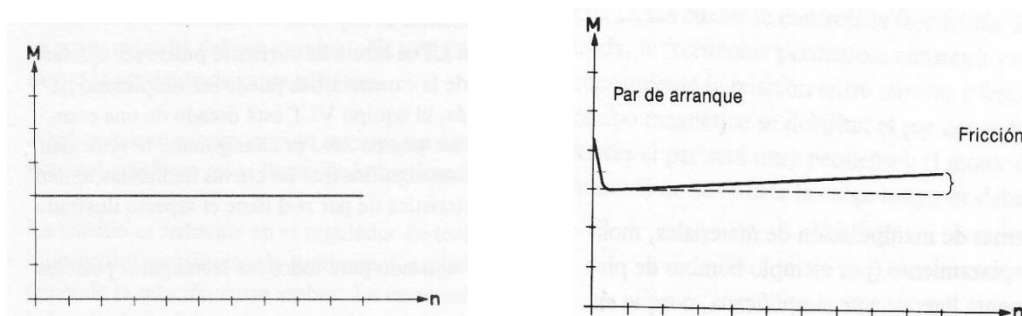
La variación del par debe ser cuidadosa, para no exceder las características del motor ni sobrecargar el propio variador, especialmente en el arranque, ya que podría circular una intensidad de corriente elevada, y eso no lo permite el variador.

Cuando el motor gira en las dos direcciones, el control del par puede ser igualmente importante, como por ejemplo un montacargas en subida y bajada con carga. En el primer caso, el control del par permite el arranque e inicio de la marcha, y en el segundo, hace la función de retención de la carga evitando el embalamiento del motor en la caída. (En cualquier caso, el variador no puede realizar las funciones de freno-motor; debiéndose instalar un freno-motor, de retención mecánica tipo magnético, disco, zapata, etc.)

### 2.2.6.2. Características de carga típicas:

- De acuerdo a ANDI (2014) Par de carga constante:  $T=cte$ ; se da en sistemas que tienen siempre (o aproximadamente) el mismo par resistente, como molinos, bombas de pistón, transportadoras en carga (cintas, elevadores, sinfines). Las curvas de par-velocidad (teórica y real) pueden ser las siguientes

Figura 2.24 Par de carga constante

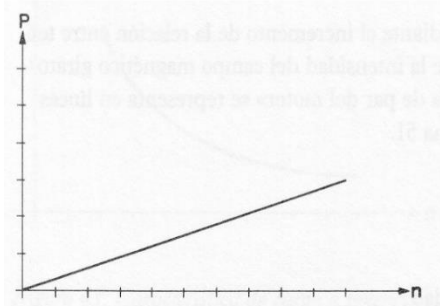


Fuente: ANDI (2014)

En el arranque (real) puede ser necesario un sobre par para vencer la fuerza de rozamiento del sistema, parado con carga. (El sobre par debe programarse de acuerdo a las necesidades y posibilidades del variador, ya que puede incrementar excesivamente el valor de  $I_N$ )

La potencia necesaria aumenta proporcionalmente a la velocidad, por lo que se produce una aceleración lineal hasta lograr la velocidad nominal o de trabajo.

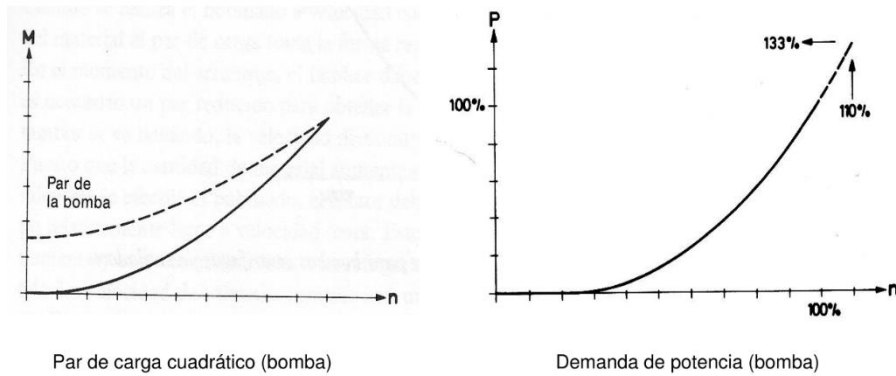
Figura 2.25 Aceleración lineal de potencia respecto a velocidad



Fuente: ANDI (2014)

- Par de carga cuadrático:  $T \propto n^2$ ; el par es proporcional al cuadrado de la velocidad. Es decir, inicialmente muy bajo, va creciendo de forma cuadrática al aumentar la velocidad. Esta característica se da en ventiladores, motores de bombas centrífugas, etc.

Figura 2.26 Par de carga cuadrático

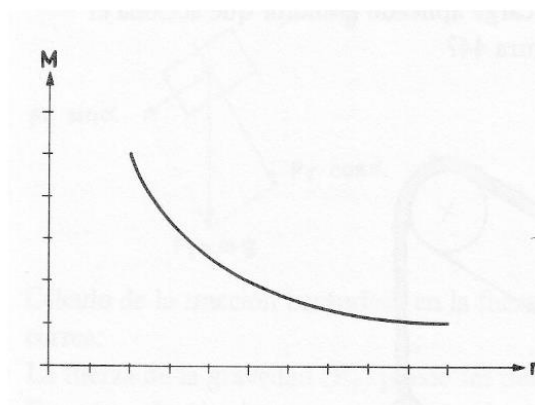


Fuente: ANDI (2014)

Potencia constante: ( $P = M \cdot \omega \rightarrow cte$ ); al contrario que antes, el par disminuye al aumentar la velocidad, para mantener la potencia constante.

Este tipo de demanda, se da en máquinas herramienta (corte), bobinadoras, laminación, etc. A veces se aprovechan las características de sobre-velocidad para mejorar las posibilidades del proceso, si el par necesario no es alto.

Figura 2.27 Momento vs velocidad



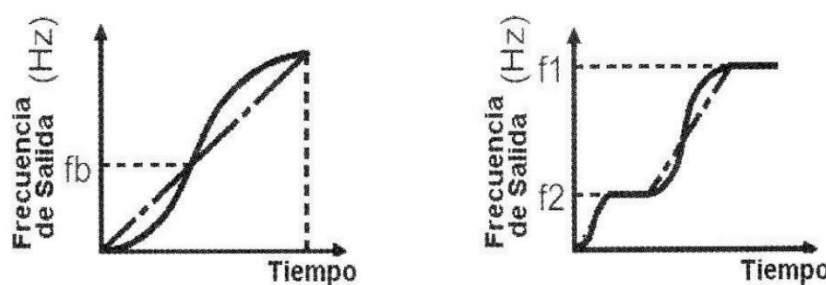
Fuente: ANDI (2014)



### 2.2.6.3. Otros parámetros y características:

- Según ANDI (2014), variación de la frecuencia tipo S y doble S: se combina una variación proporcional-lineal en 1 ó dos pasos, de modo que primero la frecuencia de salida aumenta de forma progresiva, y después de manera más rápida. El punto de inflexión de la “s” se da la máxima aceleración:

Figura 2.28 Variación de f, tipo S y doble S



Fuente: ANDI (2014)

- Golpe de ariete: se da en sistemas de elevación de agua o fluidos, mediante bombas. Si durante la marcha normal, se produce el paro repentino del motor (electrobomba), la columna de agua o fluido en ascenso, tiende a “caer”, comprimiendo al resto de fluido del tubo y produciendo un efecto de compresión-expansión (tipo yo-yo) que puede deformar o agrietar el tubo o los componentes. La manera de evitarlo mediante un variador, es aplicando un arranque y parada controlados (aceleración-deceleración lineales) para que la presión ejercida sobre la columna de fluido, varié suavemente. En caso de avería, falta de tensión o parada inesperada, es conveniente que el sistema disponga de otros tipos de protección de seguridad (válvulas de asiento o similares).

### 2.2.6.4. Protección del motor y variador

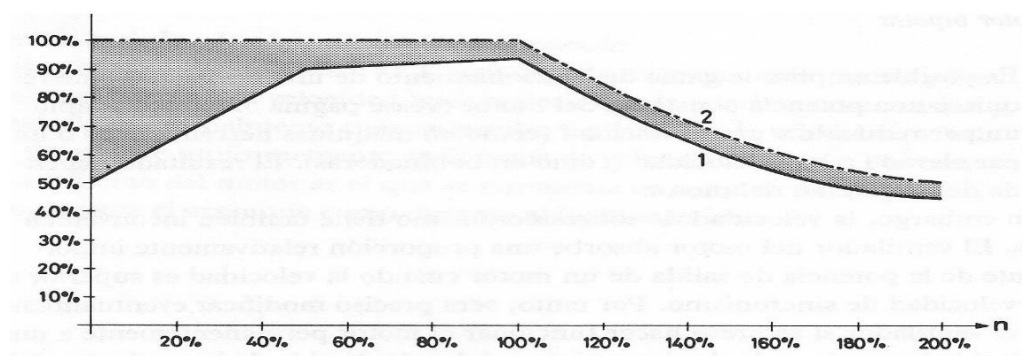
- Los variadores proporcionan un valor de intensidad nominal  $I_N$  en condiciones de trabajo normales, y permiten una cierta sobrecarga de breve duración. No se producen picos o puntas de arranque elevadas. (Consultar la documentación del variador).

- Se incluyen las funciones del relé térmico de sobrecarga y propias del variador: falta de fase, temperatura interna, frenado, ventilador... etc. (Configurables)
- Dispone de señales de alarma (contactos o salidas analógicas), y detecta los fallos de fase, inversión, sobre tensión... etc.
- Externamente, es necesario instalar junto al variador un interruptor automático magnético, apropiado a la intensidad nominal a manejar. En los manuales del variador se indica el calibre de la protección, incluidos los fusibles, si se usaran.
- El variador dispone de toma de tierra. Esta toma de tierra, no debe estar en contacto con bornes comunes de las entradas o salidas, analógicas y/o digitales. (Observar los esquemas de conexión y advertencias, en los manuales).

#### 2.2.6.5. Temperatura de trabajo del motor

- Según Schneider Electric (2015), los motores llevan incorporado un ventilador, que refrigera al motor en condiciones normales; al estar instalado en el propio rotor, el ventilador gira a su velocidad; cuando mediante el variador, el motor gira velocidades reducidas, el ventilador pierde eficacia, y en consecuencia, la temperatura del motor puede aumentar excesivamente:

Figura 2.29 Temperatura del motor (par-velocidad)



Fuente: Schneider Electric (2015)

- Cuando la relación par-velocidad se mantiene dentro de la zona 1, la temperatura del motor permanece en valores aceptables; en cambio cuando se le hace trabajar en la

zona 2 (par de trabajo mayor del 50%) la temperatura aumenta y debe haber refrigeración suplementaria desde el exterior.

- Algunos motores disponen en su interior de sondas de temperatura (resistencias PTC o similares), que pueden ser usadas con el variador en combinación de los sistemas de detección adecuados, para una protección total del motor.

- Por otro lado, en caso de sobre velocidad, el ventilador interno del motor no es eficaz, ya que aumenta la resistencia por rozamiento con el aire, y tiende a provocar un sobreesfuerzo del propio motor, de manera que se necesitaría refrigeración externa.

Sentido de giro: el variador puede hacer girar el motor en ambos sentidos; inicialmente si se conecta la secuencia L1-L2-L3 en fase al motor, girará a la derecha; algunos variadores disponen de entradas por contacto (todo-nada) para seleccionar el sentido (STF = start forward, STR = start reverse). También puede hacerse mediante programación, o control externo, sea por pulsadores, autómatas, analógico... etc. El cambio de sentido nunca será brusco, sino mediante rampas de deceleración, parada y aceleración controladas.

Instalación: deben consultarse los manuales de instalación, para alojarlo en armarios, conectar mangueras y cableados, etc. El fabricante, indica las opciones posibles de acuerdo a la aplicación y tipo de variador, desde juegos de cables y terminales, a unidades externas de filtro, frenado, ventilación, consola de programación, comunicaciones... etc.

Manejo y configuración:

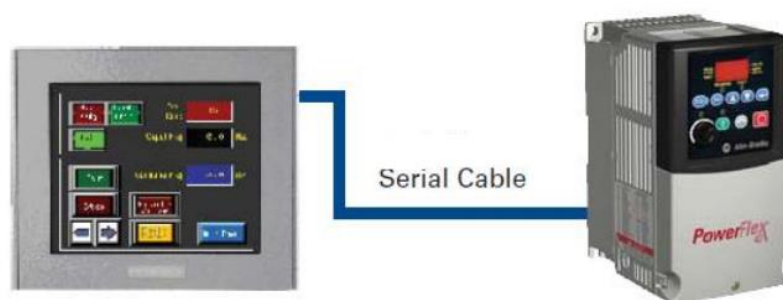
- Manual en el propio variador: dispone de una pequeña pantalla (display) y teclas de operación (PU = programming unit), que permiten acceder a diferentes menús de configuración, establecer valores o modos de funcionamiento, etc. Muchos parámetros solo pueden configurarse o modificarse, con el motor parado.

- Consola de configuración: es un dispositivo auxiliar, dotado de pantalla y teclado, que permite acceder a todas las funciones del variador. La consola se conecta al variador mediante una toma propia o de comunicación (RJ45, RS485, USB...), una vez realizada la programación, se desconecta y el variador queda configurado para trabajo autónomo.

- Operación fija externa (EXT): se configuran determinadas entradas y salidas, y se instalan en el armario pulsadores, interruptores, selectores o potenciómetros para activar funciones fijas (marcha, paro, velocidades) configuradas internamente. Así el operador o técnico responsable, no accede al variador, sino a los controles externos.

- Panel de operador: consiste en una pantalla (alfanumérica o gráfica) tipo táctil, que enlazada con el variador, permite su control total o parcial, de acuerdo a la programación establecida. Por otro lado, en funcionamiento normal, algunos tipos de panel gráfico, pueden ofrecer determinada información, velocidad, par, intensidad o mostrar figuras, diagramas del sistema, etc. (Depende del sistema y especialmente de las comunicaciones y software)

Figura 2.30 Comunicación entre variador y PC



Fuente: Schneider Electric (2015)

- Mediante bus industrial: el variador puede estar conectado a un bus industrial (similar a una red). De manera remota, un ordenador puede ejercer el control, y monitorear las condiciones de trabajo normales y de avería. Se evita la necesidad de un operario que lo manipule y se integra en el proceso industrial de manera automática. El software de

control y programación, suele ser facilitado por el fabricante del variador, y en general será compatible, con los buses industriales más utilizados (Profibus, etc.), o sistemas de control automatizado, tipo SCADA.

- De acuerdo con la marca y modelo de variador, los menús y funciones de configuración que presenta, pueden ser:

- Funciones con valores de configuración (ALTIVAR de telemecánica)
- Parámetros numerados, en lugar de nombres de función, a los que se asigna un valor

- Inicialmente, el variador viene configurado con todos los parámetros de fábrica o por defecto (default), que es necesario revisar antes de la puesta en marcha de una aplicación.

Existe la posibilidad de volver de nuevo a los valores de fábrica, en caso de error de configuración o reinicio del variador.

#### **2.2.6.6. Funciones o parámetros más importantes de un variador de frecuencia**

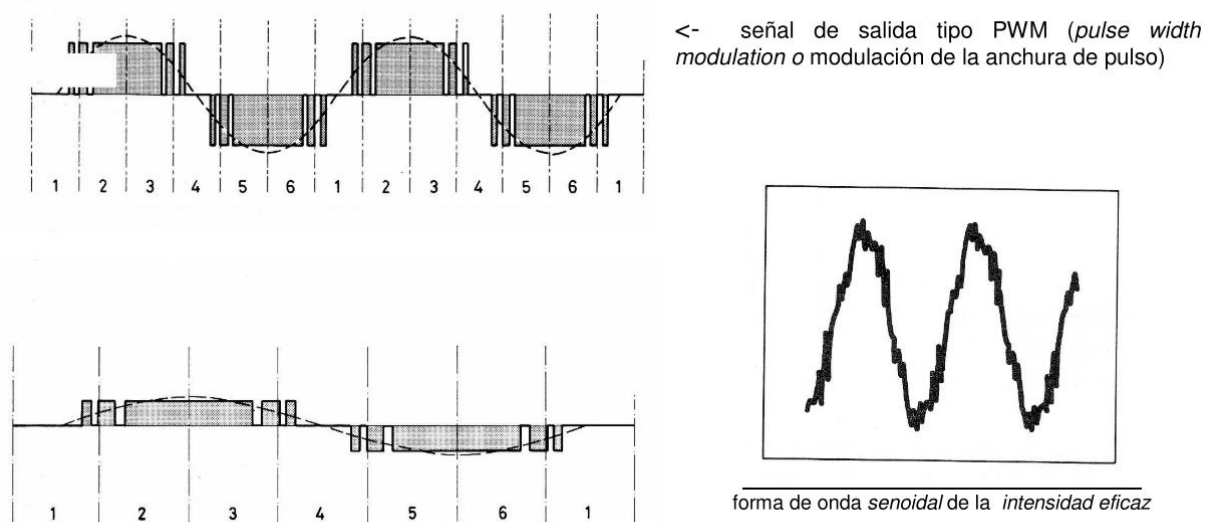
- Red de suministro de alimentación. Potencia del variador.
- Señales de salida: tensión e intensidad adecuada al motor.
- Frecuencias de salida mínima y máxima.
- Tiempo de aceleración y de parada.
- Control del par inicial.
- Protección térmica. Intensidad nominal, sobrecarga y rearme.
- Visualización: indicaciones de la pantalla (frecuencia, intensidad, etc.)
- Señales de alarma y monitoreo
- Entradas/Salidas de control (todo o nada y analógicas)
- Elementos de control (pulsadores, terminales, potenciómetro...)
- Funciones avanzadas
- Ajuste de características del motor (auto tune)

- Control de par
- Calibración
- Borrado y reinicio de funciones y parámetros
- Comunicaciones
- Control mediante bucle PI, PID, etc.
- Operación sobre varios motores

### 2.2.6.7. Señales de salida

El variador produce tres fases de salida, mediante “troceado” de la continua; para eso se usan transistores o dispositivos de potencia que actuando como interruptores, generan las señales de salida, con valores de tensión y frecuencia variables, según la regulación:

Figura 2.31 Señal de salida del variador de frecuencia



Fuente: Sevillano (2011)

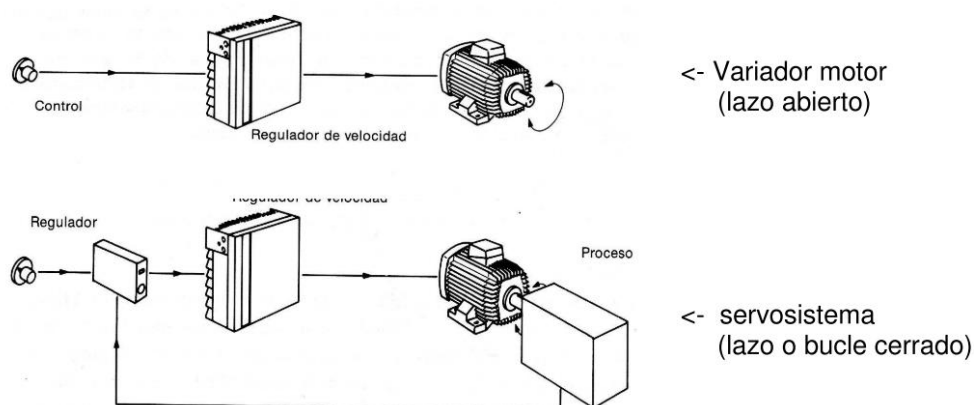
Los diferentes pulsos de la salida, son fragmentos de onda rectangular, (con valores positivos y negativos respecto al eje), generan una señal equivalente o tensión eficaz, de forma senoidal; análogamente la intensidad eficaz es casi senoidal. Las frecuencias del troceado se pueden ajustar, para reducir ruidos e interferencias producidas por motor y variador. Las casas comerciales suministran, como opción, filtros que pueden instalarse

entre en variador y la red de suministro, para evitar que las señales de ruido puedan salir a la red y afecten a otros aparatos.

### 2.2.6.8. Regulación en lazo abierto o cerrado

El conjunto variador-motor, se conectan directamente, y el propio variador, basándose en las señales que recibe (intensidad, fases, velocidad, respuesta del motor...) regula todo el proceso según los parámetros fijados. Otra forma de control, es tomando una muestra real del motor (mediante captadores tipo encoder o similares) y realizar el control mediante lazo o bucle cerrado tipo PI, PID etc., que se denomina servosistema:

Figura 2.32 Variador en lazo abierto y cerrado



Fuente: Sevillano (2011)

### 2.2.6.9. Ventajas del uso del variador de frecuencia

De acuerdo a Schneider Electric (2015): Evita picos o puntas de intensidad en los arranques del motor. (Muy pronunciados en el arranque directo, en estrella-triángulo y medios con arrancadores progresivos).

- El par se controla totalmente a cualquier velocidad, lo que evita saltos o bloqueos del motor ante la carga. (En un arrancador progresivo la regulación del par es difícil, ya que se basa en valores de tensión inicial).

- No tiene factor de potencia ( $\cos \varphi = 1$ ), lo que evita el uso de baterías de condensadores y el consumo de energía reactiva (ahorro económico).

- Comunicación mediante bus industrial, lo que permite conocer en tiempo real el estado del variador y el motor, así como el historial de fallos (facilita el mantenimiento).
- Los arranques y paradas son controlados, y suaves, sin movimientos bruscos.
- Protege completamente el motor, el variador y la línea. - El consumo energético se adapta a la exigencia del motor (ahorro de energía). - Mediante contactores externos de bypass (puente) se puede utilizar un solo variador para el control secuencial de varios motores, tanto en arranque como en parada.

#### **2.2.6.10. Desventajas del uso de un variador de frecuencia**

De acuerdo a Schneider Electric (2015), la instalación, programación y mantenimiento, debe ser realizada por personal cualificado.

- 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.
- Para aplicaciones sencillas puede suponer mayor inversión, que un sistema simple (contactor-guardamotor), si bien a la larga se amortiza el gasto suplementario, por el ahorro energético y de potencia reactiva que aporta el variador.
- Las averías del variador, no se pueden reparar in situ (hay que enviarlos a la casa o servicio técnico). Mientras tanto debe disponerse de otro variador equivalente, o dejar la instalación sin funcionamiento.

#### **2.2.7. Tarifas Eléctricas**

##### **2.2.7.1. Usuarios en Media Tensión (MT) y Baja Tensión (BT)**

*“Son usuarios en media tensión (MT) aquellos que están conectados con su empalme a redes cuya tensión de suministro es superior a 1 kV (kV = kilovoltio) y menor a 30 kV.*

*Son usuarios en baja tensión (BT) aquellos que están conectados a redes cuya tensión de suministro es igual o inferior a 1 kV.*



*En caso no cuenten con la medición adecuada en media tensión, los usuarios en MT podrán solicitar la medición de sus consumos en baja tensión. En este caso, se considerará un recargo por pérdidas de transformación, equivalente a un 2% para el sector típico 1 y de 2,5% para los otros sectores, aplicable al monto total consumido en unidades de potencia y energía. La empresa distribuidora podrá proponer a OSINERG un valor de recargo por pérdidas de transformación promedio distinto al indicado, el cual deberá sustentarse con el promedio de las mediciones de todos sus clientes de Media Tensión que se encuentran medidos en Baja Tensión, para un periodo mínimo de un año”* (OSINERGMIN, 2013).

#### **2.2.7.2. Horas de Punta (HP) y Horas Fuera de Punta (HFP)**

Según OSINERGMIN (2013):

a) Se entenderá por horas de punta (HP), el período comprendido entre las 18:00 y las 23:00 horas de cada día de todos los meses del año.

Si el equipo de medición correspondiente a la opción tarifaria elegida por el usuario lo permite o si el usuario acondiciona su sistema de medición, se exceptuará en la aplicación de las horas de punta, los días domingos, los días feriados nacionales del calendario regular anual y los feriados nacionales extraordinarios programados en días hábiles. En el caso que la medición sólo permita programar los feriados con antelación sólo se considerarán los domingos y los feriados nacionales del calendario regular anual, en caso contrario se considerarán además los feriados nacionales extraordinarios programados en días hábiles, según se señala en las condiciones específicas de cada opción tarifaria.

b) Se entenderá por horas fuera de punta (HFP), al resto de horas del mes no comprendidas en las horas de punta (HP).

#### **2.2.7.3. Potencia Instalada, Potencia Conectada y Potencia Contratada**

Según OSINERGMIN (2013)

a) Se entenderá por Potencia Instalada, a la sumatoria de las potencias activas nominales de todos los artefactos y equipos eléctricos que se alimenta de un suministro de electricidad.

b) Se entenderá por Potencia Conectada, aquella potencia activa máxima

Requerida por el usuario al momento de solicitar el suministro y que técnicamente soporta la conexión eléctrica; el mismo que debe adecuarse al derecho de potencia otorgado por cada tipo de conexión eléctrica establecido en la Resolución OSINERGMIN N° 153-2011-OS/CD, o la que la sustituya.

c) Se entenderá por Potencia Contratada, aquella potencia activa máxima que puede tomar un suministro y que ha sido convenida mediante contrato entre usuario y concesionaria. Al respecto, cualquier aumento de la mencionada potencia activa máxima, requerida por el usuario y que no exceda la potencia conectada, no deberá generar cobros adicionales por conceptos relacionados con los costos de conexión eléctrica y en tal sentido la empresa concesionaria de forma conjunta con el usuario deberán regularizar automáticamente la nueva potencia contratada.

#### **2.2.7.4. Demanda Máxima Mensual, Demanda Máxima Mensual en Horas de Punta y Horas Fuera de Punta**

Según OSINERGMIN (2013).

a) Se entenderá por demanda máxima mensual, al más alto valor de las demandas de potencia activa integradas en periodos sucesivos de 15 minutos, en el periodo de un mes.

b) Se entenderá por demanda máxima mensual en horas de punta, al más alto valor de las demandas de potencia activa integradas en periodos sucesivos de 15 minutos, en el periodo de punta a lo largo del mes.

c) Se entenderá por demanda máxima mensual fuera de punta, al más alto valor de las demandas de potencia activa integradas en períodos sucesivos de 15 minutos, en el periodo fuera de punta a lo largo del mes.

#### **2.2.7.4. Usuario libre**

*“Usuarios conectados al SEIN no sujetos a regulación de precios por la energía o potencia que consumen”*(Ministerio de Energía y Minas, 2009)

#### **2.2.7.4. Usuario regulado**

Según Ministerio de Energía y Minas (2009), usuarios sujetos a regulación de precios por la energía o potencia que consumen.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se empezará detallando el funcionamiento de los relés multilins, que aparte de la función de protección al sistema eléctrico de distribución de la mina, también cuenta con medición de parámetros eléctricos, estos que serán recogidos para su posterior análisis con el software especializado antes mencionado, adicionalmente se usó un ordenador portátil, para descargar los datos de los relés y cables de comunicación. Luego se describirá el software utilizado para la simulación del sistema eléctrico de distribución de la operación minera y para la eficiencia energética.

Es una investigación con un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo y correlacional de acuerdo a los conceptos brindados por R. Hernandez Sampieri & et.al. (2006).

#### **3.1. Materiales**

##### **3.1.1. Multilin 750 – General Electric**

Es un relé digital que está diseñado para sistemas de protección de alimentador. El Sistema de protección del alimentador 750 está destinado a la administración, protección primaria y control de los alimentadores de distribución. Este relé fácil de usar proporciona funciones de protección integrales para alimentadores y protección de respaldo para los diferentes “bus”, transformadores y líneas de transmisión.

##### **3.1.1.1. Protección y control**

- Tiempo direccional, fase instantánea y protección contra sobre corriente.
- Tierra sensible direccional y protección contra falla a tierra
- Protección de potencia inversa
- Comprobación sincronizada - V, f, Hz y fuente muerta
- Transferencia automática de barra o control manual

### 3.1.1.2. Comunicación

- Interfaces de red: puertos Ethernet de 10Mbps, RS232, RS485 y RS422
- Puerto Ethernet, 10Mbps
- Protocolos múltiples - ModBus <sup>TM</sup> RTU, TCP / IP, DNP 3.0 Nivel 2

### 3.1.1.3. Monitoreo y medición

- Medición: corriente, voltaje, componentes de secuencia, potencia, energía, voltaje
- Funcionamiento del interruptor y falla de disparo
- Corriente total de arco del interruptor
- Temperatura ambiente / entrada analógica del transductor
- Oscilografía y registrador de datos: 10 registros hasta 32 ciclos de alimentación
- Modo de simulación y capacidad de reproducción

### 3.1.1.4. EnerVista Software

- Software de última generación para la configuración y puesta en marcha de productos Multilin de G.E.
- Conjunto de herramientas de archivo y software para asegurar que el material de referencia y las utilidades del dispositivo estén actualizados.
- EnerVista <sup>TM</sup> Integrator, que proporciona una fácil integración de datos en el 750/760 en sistemas de monitoreo y control nuevos o existentes

### 3.1.2. Multilin 369 – General Electric

Es un relé digital diseñado para la protección del sistema del motor y control integrado, para motores de corriente media.

#### 3.1.2.1. Protección y control

- Modelo térmico mejorado
- Protección contra atascos

- Bajo voltaje, sobretensión
- Subfrecuencia
- Sobrecarga térmica
- Bajo voltaje / desequilibrio de corriente
- Tiempo de bloqueo variable
- Sobretemperatura 12 RTD (opción R)
- Inicio / hora, tiempo entre inicios
- Voltaje Reversión de fase (opción M)
- Inversión de fase basada en corriente
- Reinicio automático bajo voltaje

#### **3.1.2.2. Interfaz de usuario**

- Pantalla LCD de 40 caracteres
- 10 LED de estado del sistema y del motor
- Teclado para la configuración y visualización de valores medidos
- 4 salidas analógicas programables
- 369 Configuraciones automáticas del motor

#### **3.1.2.3. Monitoreo y medición**

- Medición: corriente, voltaje, potencia, energía, frecuencia, temperatura RTD, RTD remoto y demás variables secundarias.
- Diagnóstico de fallas
- Registro de eventos, Oscilografía, registrador de datos de arranque del motor
- Informe de estado del motor
- Información estadística y datos aprendidos del motor
- Pantalla de voltaje / frecuencia / potencia (opción M)
- 4 salidas analógicas (opción M)

#### 3.1.2.4. Comunicaciones

- Puerto RS232 del panel frontal para programación y solución de problemas
- Puerto Ethernet incorporado opcional
- Profibus DP / DPV1 o DeviceNet opcionales a través de un puerto dedicado
- Protocolos múltiples - Modbus RTU, Modbus TCP / IP

#### 3.1.2.5. EnerVista Software

- Software de vanguardia para la configuración y puesta en marcha de productos GE Multilin.

- Conjunto de herramientas de archivo y software para asegurar que el material de referencia y las utilidades del dispositivo estén actualizados.

- EnerVista™ Integrator, que proporciona una fácil integración de datos en el 369 en sistemas de monitoreo y control nuevos o existentes

#### 3.1.3. RetScreen Software

RETScreen Expert es un software de análisis de proyectos de energía limpia desarrollado por el Departamento de Recursos Naturales de Canadá (Natural Resources Canadá) y cuenta con el apoyo del GEF (Global Environmental Fund), la NASA y otros organismos desarrolladores. Se puede utilizar en todo el mundo para evaluar la producción y el ahorro de energía, los costos, las reducciones de emisiones, la viabilidad financiera y el análisis de riesgos de varios tipos de tecnologías de energía renovable y eficiencia energética, incluida la cogeneración y el análisis del rendimiento energético.

- RETScreen Expert es una herramienta de soporte de decisiones única
- Desarrollado con la contribución de numerosos expertos del gobierno, la industria y academia
- El software está disponible en varios idiomas (36 idiomas) y también incluye bases de datos de productos, proyectos, hidrología y clima.

- Un manual de usuario detallado y un curso de capacitación a nivel de colegio / universidad basado en un estudio de caso.
- Usuarios en más de 220 países.
- Base de datos con 4700 estaciones de registro de datos en colaboración con la NASA

#### **3.1.4. Etap Software**

ETAP es un poderoso y completo software de simulación de sistemas de potencia, el cual cuenta con numerosos módulos orientados al óptimo diseño, planeación y operación de un sistema eléctrico en diversos tipos de industria. Desde el lanzamiento de su primera versión en 1986, su casa desarrolladora, Operation Technology Inc, ubicada en la ciudad de Irvine California, ha innovado aplicativos atendiendo las continuas realimentaciones y sugerencias de sus clientes alrededor del mundo, considerándose entre los usuarios como una herramienta confiable, rápida y amigable a la hora de modelar y llevar diferentes análisis eléctricos.

ETAP se convierte cada vez más en una de las herramientas de simulación de sistemas de potencia más empleadas por empresas consultoras, industriales y electrificadoras a nivel internacional, dispone de numerosas herramientas para el usuario tales como:

- Solución del Flujo de potencia por cuatro métodos numéricos iterativos posibles (Newton –Raphson, Newton –Raphson Adaptativo, Gauss –Seidel Acelerado y Desacoplado).
- Elección del factor de diversidad por medio de la definición global de cargas (potencia constante, impedancia constante, corriente constante y genérica), niveles de voltaje mínimos y máximos.
- Configuración de alertas marginales y críticas para los niveles de tensión definidos por el Usuario.



- Dimensionamiento de conductores a través de módulos transversales como el Sizing – Phase, el cual emplea los criterios de cargabilidad, máxima caída de tensión y cortocircuito para la selección óptima del conductor.
- Analizador de flujo de carga, en los que se aprecia de manera comparativa los resultados del análisis para cada escenario de estudio definido por el usuario.
- Generación detallada de informes técnicos en cinco formatos de archivos disponibles para la selección del usuario.

### 3.2. Método y diseño de la investigación

En el presente trabajo de tesis se aplicó lo siguiente:

**Analítico-sintético:** Este método posibilita analizar toda la bibliografía, los trabajos previos y documentos para la determinación de los fundamentos necesarios para llegar a las diferentes partes de la investigación.

**Inductivo-deductivo:** Permite el estudio de los elementos particulares para lograr la elaboración de conclusiones generales, totales y parciales a cerca de la caracterización del estado actual de las instalaciones de la operación minera Lagunas Norte.

**Sistémico Estructural:** Se empleó para la conformación de la propuesta del sistema de actividades a partir de la relación que se establece entre cada uno de los componentes que lo conforman.

Respecto **al diseño de la investigación**, es no experimental de diseño transversal según R. Hernandez Sampieri & et.al. (2006), con el que se realizó la siguiente metodología:

- Recolección de información técnica de la operación minera Lagunas Norte, mediante el software EnerVista, de los reles multilines 369, 750, ubicados en los distintos MCC (Centro de Control de Motores). Descargando principalmente las siguientes variables: tensión (V), corriente (I), factor de potencia (FP), potencia activa (P), potencia reactiva (Q), potencia aparente (S), energía consumida (KWh).

- Análisis, se realizó con el software especializado en el tema, insertando la información de las variables anteriormente recogidas, conociendo así el estado actual del sistema eléctrico de distribución de la mina y simulando distintos escenarios de operación.

- Interpretación, se determinara las opciones de operación que mejores resultados traiga.

- Evaluación, se realizó un cálculo del payback, del VAN y del TIR, de la inversión inicial de activos de eficiencia energética como variadores de velocidad, escogiendo los que retornen en un tiempo menor. Logrando así, una inversión que se recupere en un tiempo menor a 3 años y traiga ahorro en la factura final de energía eléctrica. Presentando alternativas para mejorar el rendimiento y eficiencia energética de la operación minera.

### 3.3. Ubicación y descripción de la población

Figura 3.1 Ubicación de la operación minera Lagunas Norte



Fuente: RetScreen (2018)

#### 3.3.1. Ubicación de la operación minera.

Región: La Libertad  
Provincia: Santiago de Chuco  
Distrito: Quiruvilca

Latitud: -7.9575  
Longitud: -78.2417  
Altitud: 4056 m.s.n.m.

### **3.3.2. Descripción de la población**

Población: Para este proyecto de investigación, se considera como población a investigar, las operaciones mineras grandes y medianas a nivel nacional, que tienen consumo de energía elevada y quieren reducir dicho consumo.

Muestra: La muestra es todo el sistema eléctrico de distribución de la operación minera Lagunas Norte, donde se realizó el estudio de eficiencia energética de los sistemas eléctricos de la operación.

### **3.4. Técnicas de recolección de datos**

La recolección de datos está dada en función al objetivo general que se pretende lograr, que es la reducción del gasto en energía eléctrica, para lo cual, iniciamos con una medición del todos los componentes del sistema eléctrico de distribución de la mina, para lo cual usaremos la información medida y almacenada previamente en los multilins 750 y 369, los descargaremos mediante un cable serial y conectado a un ordenador personal que tenga instalado el software EnerVista, compatible para la descarga de información de los multilins antes señalados. La información requerida principalmente son las mediciones instantáneas e históricas de variables a utilizar (V, I, FP, P, Q, S, KW-h) de cada parte del sistema eléctrico de distribución de la operación minera, con esta data se sacó un promedio de las variables antes señaladas. Luego se usara información de las facturas de energía eléctrica históricas, esto en necesario para determinar el impacto económico posterior que tendrá el estudio.

### **3.5. Técnicas de análisis**

Se analizó con el software RetScreen todo lo concerniente a eficiencia energética y el software Etap para las distintas simulaciones del sistema eléctrico de distribución, de acuerdo a las distintas áreas correspondientes a la operación minera.

#### **3.5.1. Áreas de la operación minera**

La operación minera está dividida por áreas de acuerdo a la función que realizan, a continuación, se listan las distintas áreas.

- Chancado primario
- Chancado secundario
- Leach Pad
- Merrill Crowe
- Planta ARD y Tratamiento de aguas (RO)
- Laboratorios
- Administración (campamentos, oficinas)
- Otros.

#### **3.5.2. Análisis de Precios de energía eléctrica.**

Se analizó los precios de energía para la operación minera Lagunas Norte, se extrajo información de las facturas finales de energía eléctrica, en donde tomamos como referencia el gasto final y lo dividimos por la energía consumida, para así tener un precio base dado en \$/MWh.

#### **3.5.3. Análisis con software ETAP**

##### **3.5.3.1. Análisis de la subestación principal**

Para calcular las pérdidas en la subestación principal se va considerar tres escenarios y de acuerdo a este análisis se va recomendar el modo de operación de la subestación principal. Esto se planteó en base a que la demanda máxima es 16.9 MW, y puede ser

atendida con uno, dos o tres transformadores cumpliendo ciertos requisitos, evaluaremos cual es el estado de operación más óptimo.

En la actualidad la operación minera está operando solo con dos transformadores.

Figura 3.2 Datos de placa del transformador de potencia

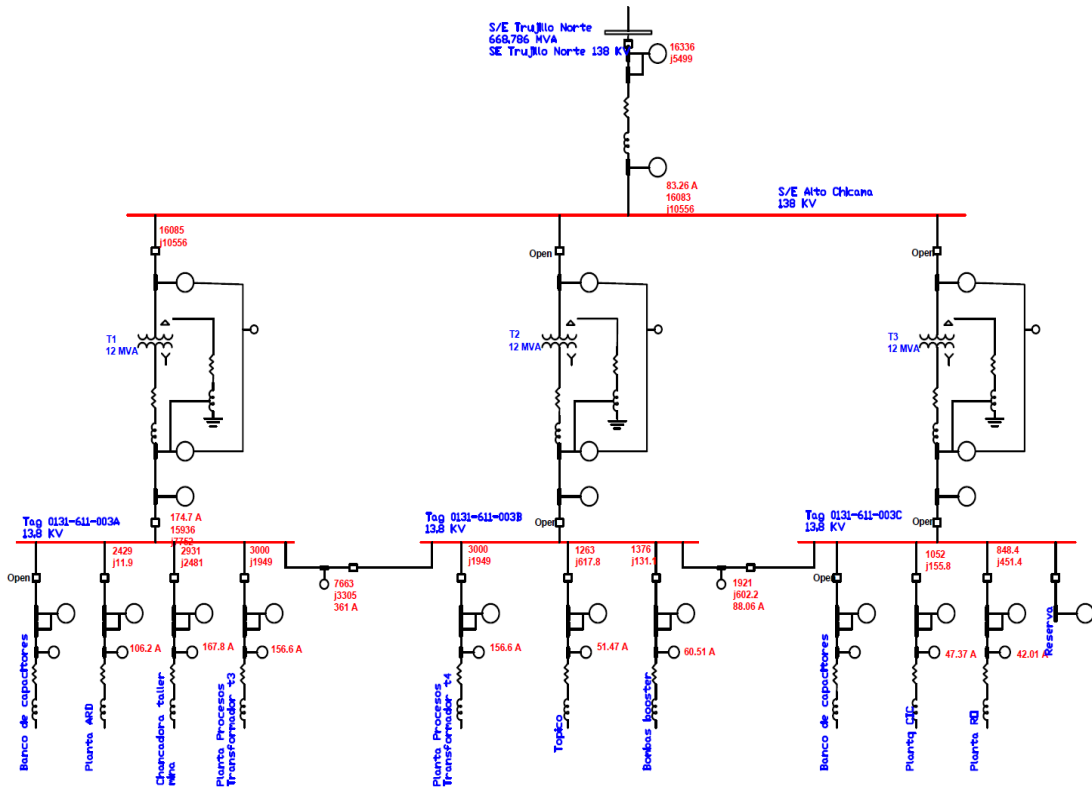
LOAD-TAP-CHANGING TRANSFORMER / TRANSFORMADOR																		
SERIAL No / No SERIE G1341- ___, THREE-PHASE / TRIFASICO, 60 Hz, ALTITUDE / ALTITUD 4100 MASL																		
RATED VOLTS / VOLTS NOMINALES 138 000 - 13 800 Y / 7970																		
CONTINUOUS RATING / CAPACIDAD CONTINUA	12 000 kVA @	55 °C RISE ONAN / 55 °C ELEVACION ONAN																
CONTINUOUS RATING / CAPACIDAD CONTINUA	15 000 kVA @	55 °C RISE ONAF / 55 °C ELEVACION ONAF																
CONTINUOUS RATING / CAPACIDAD CONTINUA	16 800 kVA @	65 °C RISE ONAF / 65 °C ELEVACION ONAF																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">IMPEDANCE/IMPEDANCIA @ 75 °C</th> </tr> <tr> <th>%Z</th> <th>kVA BASE</th> <th>kV BASE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>12 000</td> <td>138 - 13.8</td> </tr> </tbody> </table>			IMPEDANCE/IMPEDANCIA @ 75 °C			%Z	kVA BASE	kV BASE		12 000	138 - 13.8							
IMPEDANCE/IMPEDANCIA @ 75 °C																		
%Z	kVA BASE	kV BASE																
	12 000	138 - 13.8																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">BASIC IMPULSE LEVEL (kV) / NIVEL BASICO DE IMPULSO (kV)</th> </tr> <tr> <th></th> <th>m1,m2,m3</th> <th>x1,x2,x3</th> <th>x0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BUSHING / BORNILLA</td> <td>750</td> <td>200</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>WINDING / DEVANADO</td> <td>650</td> <td>110</td> <td>110</td> </tr> </tbody> </table>			BASIC IMPULSE LEVEL (kV) / NIVEL BASICO DE IMPULSO (kV)					m1,m2,m3	x1,x2,x3	x0	BUSHING / BORNILLA	750	200	200	WINDING / DEVANADO	650	110	110
BASIC IMPULSE LEVEL (kV) / NIVEL BASICO DE IMPULSO (kV)																		
	m1,m2,m3	x1,x2,x3	x0															
BUSHING / BORNILLA	750	200	200															
WINDING / DEVANADO	650	110	110															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">APPROXIMATE WEIGHTS / PESOS APROXIMADOS (KGS)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CORE AND COILS / NUCLEO Y BOBINAS</td> <td>24790</td> </tr> <tr> <td>TANK AND FITTINGS / TANQUE Y ACCESORIOS</td> <td>17585</td> </tr> <tr> <td>MAIN TANK INSULATING LIQUID / ACEITE TANQUE PRINCIPAL (27839 LITS)</td> <td>25055</td> </tr> <tr> <td>RADIATORS INSULATING LIQUID / ACEITE RADADORES (533 LITS)</td> <td>480</td> </tr> <tr> <td>LTC INSULATING LIQUID / ACEITE CBC (1056 LITS)</td> <td>950</td> </tr> <tr> <td>TOTAL WEIGHT / PESO TOTAL</td> <td>68860</td> </tr> <tr> <td>UNLOADING WEIGHT / PESO DESMONTAJE</td> <td>24790</td> </tr> </tbody> </table>			APPROXIMATE WEIGHTS / PESOS APROXIMADOS (KGS)		CORE AND COILS / NUCLEO Y BOBINAS	24790	TANK AND FITTINGS / TANQUE Y ACCESORIOS	17585	MAIN TANK INSULATING LIQUID / ACEITE TANQUE PRINCIPAL (27839 LITS)	25055	RADIATORS INSULATING LIQUID / ACEITE RADADORES (533 LITS)	480	LTC INSULATING LIQUID / ACEITE CBC (1056 LITS)	950	TOTAL WEIGHT / PESO TOTAL	68860	UNLOADING WEIGHT / PESO DESMONTAJE	24790
APPROXIMATE WEIGHTS / PESOS APROXIMADOS (KGS)																		
CORE AND COILS / NUCLEO Y BOBINAS	24790																	
TANK AND FITTINGS / TANQUE Y ACCESORIOS	17585																	
MAIN TANK INSULATING LIQUID / ACEITE TANQUE PRINCIPAL (27839 LITS)	25055																	
RADIATORS INSULATING LIQUID / ACEITE RADADORES (533 LITS)	480																	
LTC INSULATING LIQUID / ACEITE CBC (1056 LITS)	950																	
TOTAL WEIGHT / PESO TOTAL	68860																	
UNLOADING WEIGHT / PESO DESMONTAJE	24790																	

Fuente: MBM – LN (2018)

### 3.5.3.2. Subestación principal operando con un solo transformador de potencia

Podría ser factible la operación de toda la mina con solo un transformador, con ciertas condiciones, la demanda máxima es de 16.9 MW y cada transformador de potencia es de 12 MW en operación normal, se tendría que hacer una ventilación forzada para llegar a esa demanda requerida, y aun así teniendo el riesgo de sobrecargar el transformador. Evaluando económicamente, talvez pueda ser factible, se analizara dicho escenario con una simulación con el software, posteriormente comparando con distintos escenarios de operación. Cuando solo está en operación un transformador de potencia en la SE Lagunas Norte, se tiene una pérdida de 472 KW en el sistema de distribución de la operación minera, lo cual origina una pérdida económica anual de \$286 701.50.

Figura 3.3 Operación con un transformador



Elaboración propia (2018)

Figura 3.4 Perdidas en el sistema eléctrico operando con un transformador

Study ID	General Report
Study Case ID	LF
Data Revision	Base
Configuration	Normal 2015
Loading Cat	Normal 2015
Generation Cat	Normal
Diversity Factor	Normal Loading
Buses	407
Branches	387
Generators	0
Power Grids	1
Loads	209
Load-MW	16.336
Load-Mvar	5.499
Generation-MW	16.336
Generation-Mvar	5.499
<b>Transmission Line Losses (MW)</b>	<b>0.248</b>
<b>Distribution System Losses (MW)</b>	<b>0.472</b>
Loss-Mvar	-1.11
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

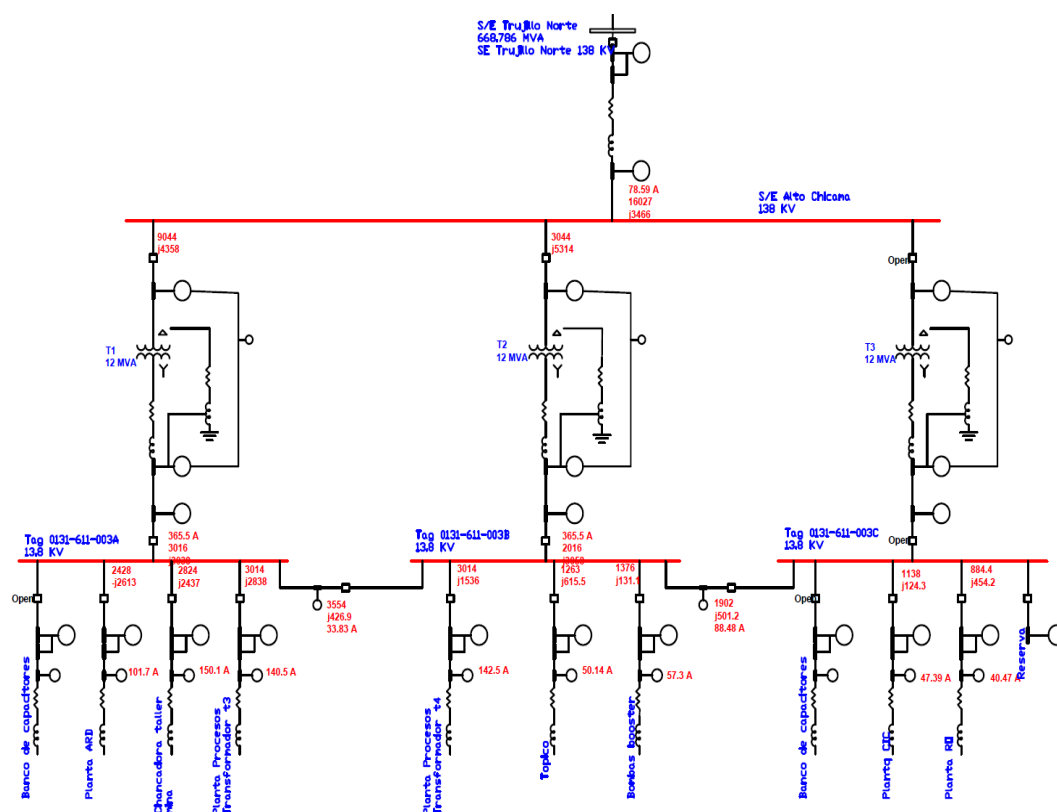
Elaboración propia (2018)



### 3.5.3.3. Subestación Principal operando con dos transformadores de potencia

Compararemos las pérdidas del anterior caso con este, ya que la operación minera está operando con dos transformadores actualmente, cuando operamos el sistema eléctrico de esta manera tenemos una pérdida en el sistema de distribución de 366 KW, de los cuales, es menor que la operación con un solo transformador, esto origina un pérdida económica de \$ 222 315.13 [(366) KW \* 365 \* 24hrs \* 0.06934 \$/kwh] por cada año de operación.

Figura 3.5 Operación con dos transformadores



Elaboración propia (2018)

Figura 3.6 Perdidas en el sistema eléctrico operando con dos transformadores

Study ID	General Report
Study Case ID	LF
Data Revision	Base
Configuration	Normal 2015
Loading Cat	Normal 2015
Generation Cat	Normal
Diversity Factor	Normal Loading
Buses	408
Branches	389
Generators	0
Power Grids	1
Loads	209
Load-MW	16.312
Load-Mvar	3.466
Generation-MW	16.312
Generation-Mvar	3.466
<b>Transmission Line Losses (MW)</b>	0.225
<b>Distribution System Losses (MW)</b>	<b>0.366</b>
Loss-Mvar	-2.88
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

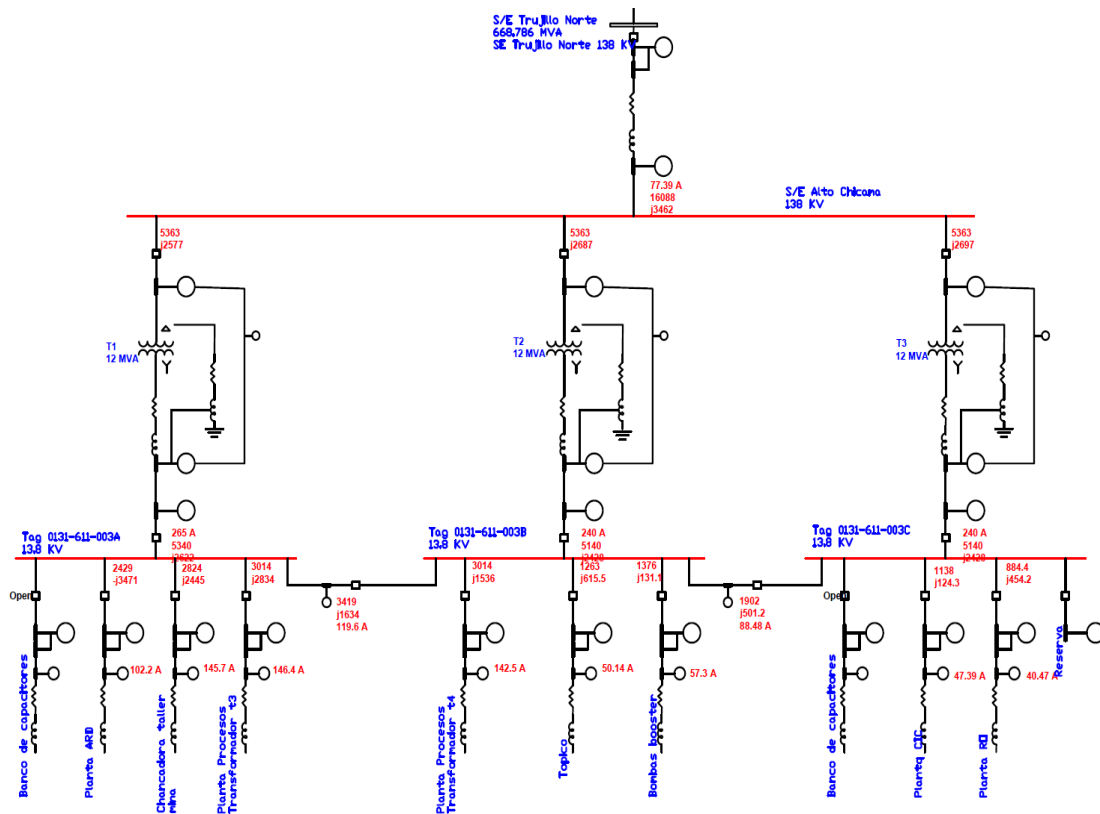
Elaboración propia (2018)

#### 3.5.3.4. Subestación Principal operando con tres transformadores de potencia.

El mejor escenario es operar el sistema eléctrico de lagunas norte con tres transformadores de potencia, dependiendo de la demanda máxima. Este escenario es el más eficiente al tener unas perdidas en el sistema de distribución de 338 KW. El ahorro económico anual estimado solo con la decisión de operar los tres transformadores de potencia es de \$ 205 307.42



Figura 3.7 Operación con tres transformadores



Elaboración propia (2018)

Figura 3.8 Perdidas en el sistema eléctrico operando con tres transformadores

Study ID	General Report
Study Case ID	LF
Data Revision	Base
Configuration	Normal 2015
Loading Cat	Normal 2015
Generation Cat	Normal
Diversity Factor	Normal Loading
Buses	409
Branches	391
Generators	0
Power Grids	1
Loads	209
Load-MW	16.307
Load-Mvar	2.893
Generation-MW	16.307
Generation-Mvar	2.893
<b>Transmission Line Losses (MW)</b>	0.219
<b>Distribution System Losses (MW)</b>	<b>0.338</b>
Loss-Mvar	-3.374
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

Elaboración propia (2018)

### 3.5.3.5. Verificación de la compensación reactiva de 3 MVAR en la subestación

#### principal

De acuerdo a datos de la operación con tres transformadores de potencia, tenemos:

$$P = 16.307 \text{ MW}$$

$$Q = 2.893 \text{ MVAR}$$

Lo que genera el siguiente triangulo de potencias.

Figura 3.9 Triangulo de potencia en la subestación principal

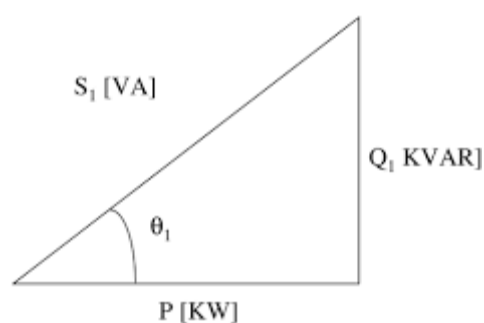


Fig. 3.9

Elaboración propia (2018)

Entonces:

$$\tan(\theta_1) = \frac{Q_1}{P} = \frac{2,893}{16,307} = 0.177$$

Despejando  $\theta_1$  tenemos:

$$\theta_1 = \tan^{-1}(\theta_1) = 10.06^\circ$$

Lo que resulta:

$$\cos(\theta_1) = 0.98$$

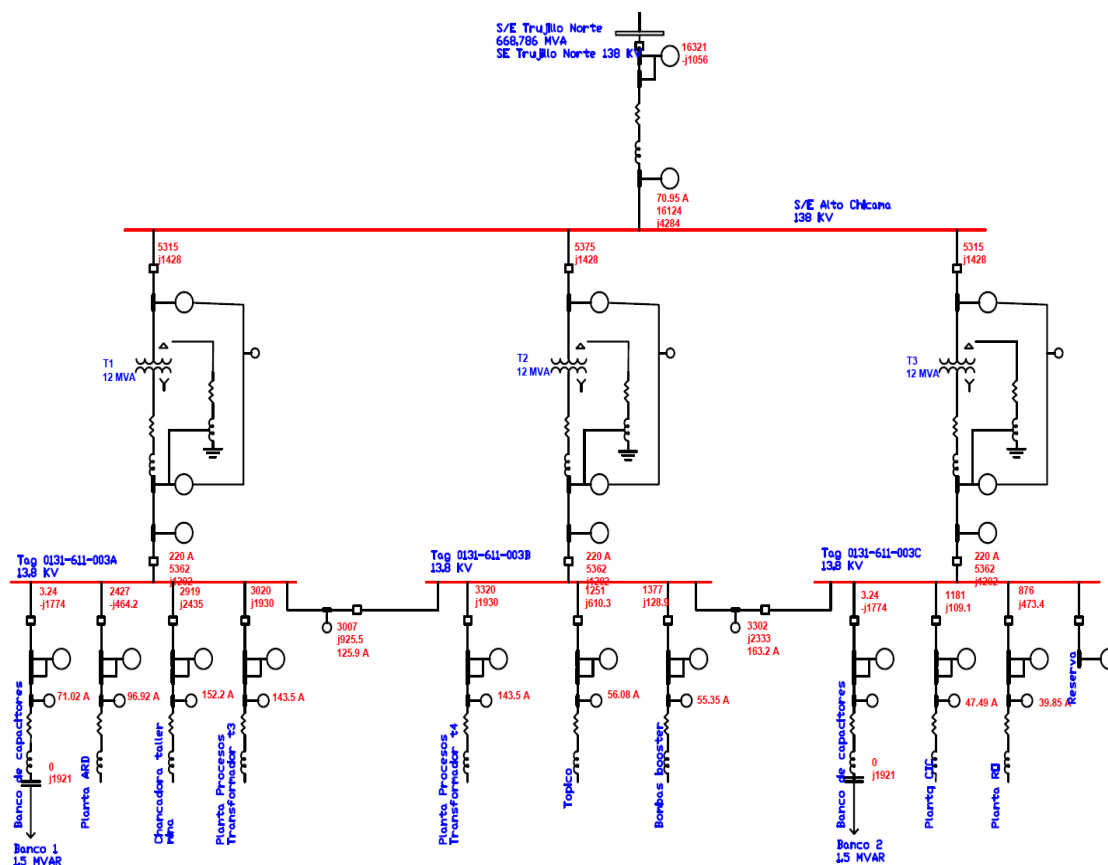
Lo ideal es un  $\cos(\theta) = 1$ , y según ese criterio se diseñaron los bancos de capacitores, para aproximarse a lo ideal, como resultado, se puso la compensación reactiva de 3 MVAR

### 3.5.3.6. Subestación principal operando con tres transformadores de potencia y compensación reactiva 3 MVAR.

Este escenario es el más atractivo porque las pérdidas eléctricas en el sistema de distribución son de 330 KW, lo cual origina un económicamente hablando la cifra de \$ 200 448.10 [(330) \*365\*24hrs\*0.06934\$/kwh]. Los bancos de capacitores ya están

instalados en la operación minera, están en mantenimiento debido a una falla que se produjo.

Figura 3.10 Operación con tres transformadores y banco de capacitores de 3 MVAR



Elaboración propia (2018)

Figura 3.11 Perdidas con tres transformadores y banco de capacitores de 3 MVAR

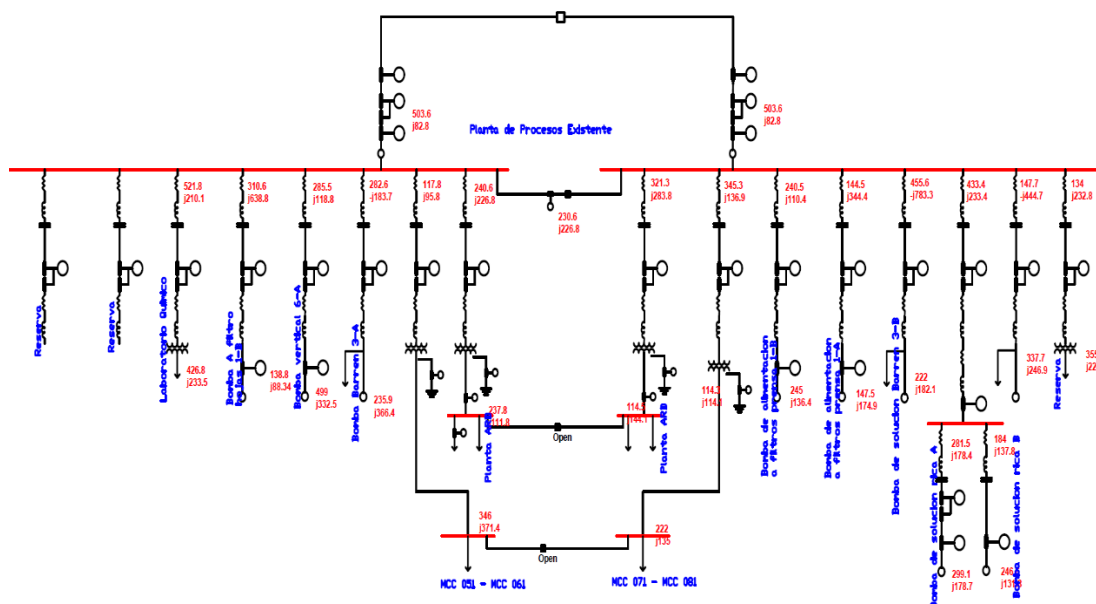
Study ID	General Report
Study Case ID	LF
Data Revision	Base
Configuration	Normal 2015
Loading Cat	Normal 2015
Generation Cat	Normal
Diversity Factor	Normal Loading
Buses	413
Branches	395
Generators	0
Power Grids	1
Loads	209
Load-MW	16.321
Load-Mvar	-1.056
Generation-MW	16.321
Generation-Mvar	-1.056
Transmission Line Losses (MW)	0.197
Distribution System Losses (MW)	0.33
Loss-Mvar	-3.382
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

Elaboración propia (2018)

**3.5.3.6. Conexión de banco de capacitores de 500 KVAR en bombas barren 3A, 3B y bomba vogel en planta de procesos Merrill Crowe**

De igual manera que el banco de capacitores de la subestación principal, estos están inactivos debido a la falta de mantenimiento, cuando conectamos los tres capacitores de las Bombas Barren 3A, 3B y bomba vogel podemos reducir aún más las perdidas en el sistema de distribución. Considerando como base el caso anterior, conectando estos tres bancos de capacitores podemos reducir las pérdidas del sistema de distribución de Lagunas Norte hasta 319 KW. Esta reducción significa un estimado de \$ 193 766.47 [(319 KW)\*365\*24hr\*0.06934\$/kwh].

Figura 3.12 Operación con banco de capacitores de 500 KVAR en bombas barren y vogel



Elaboración propia (2018)

Figura 3.13 Perdidas con banco de capacitores de 500 KVAR en bombas barren y vogel

Study ID	Untitled
Study Case ID	LF
Data Revision	Base
Configuration	Normal 2015
Loading Cat	Normal 2015
Generation Cat	Normal
Diversity Factor	Normal Loading
Buses	413
Branches	395
Generators	0
Power Grids	1
Loads	209
Load-MW	16.333
Load-Mvar	-2.949
Generation-MW	16.333
Generation-Mvar	-2.949
<b>Transmission Line Losses (MW)</b>	0.194
<b>Distribution System Losses (MW)</b>	<b>0.319</b>
Loss-Mvar	-3.522
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

Elaboración propia (2018)

### 3.5.4. Análisis por proceso con software RetScreen

Antes de comenzar con el análisis de eficiencia energética por proceso se ha considerado como precio base de electricidad \$0.07/kwh, el cual se ha calculado después de analizar las facturas de electricidad.

Figura 3.14 Precio de electricidad RetScreen

Electricity	
Type	Electricity rate - annual
Description	Electricity - kWh
Rate - unit	\$/kWh
Rate - annual	0.07

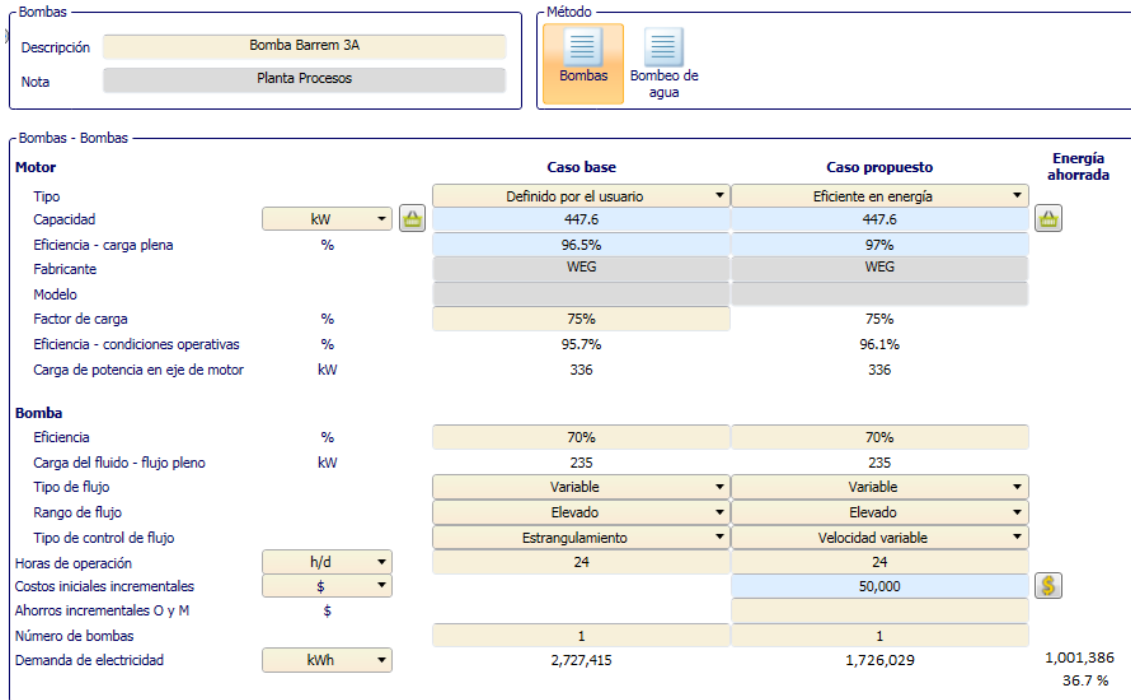
Elaboración propia (2018)

#### 3.5.4.1. Planta Procesos Merrill Crowe

A continuación, mostramos los detalles de cálculo realizado con el software RETScreen para las cargas más importantes de operación de la planta procesos.

3.5.4.1.1. Bomba Barren 3A

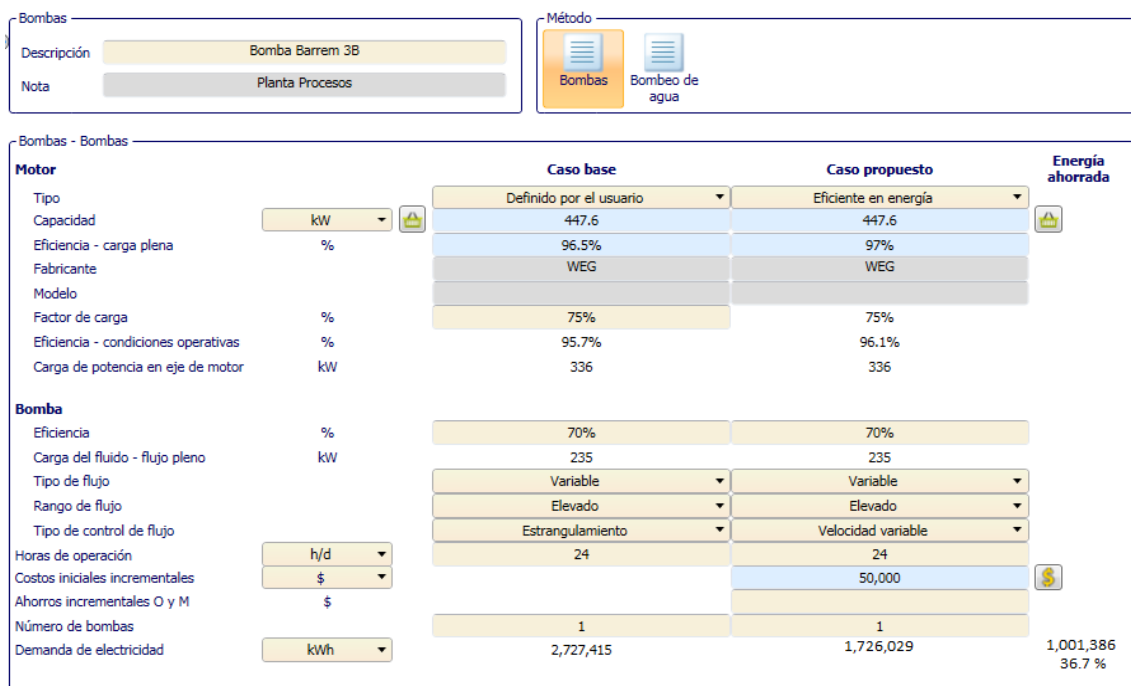
Figura 3.15 Detalles de bomba barren 3A



Elaboración propia (2018)

3.5.4.1.2. Bomba Barren 3B

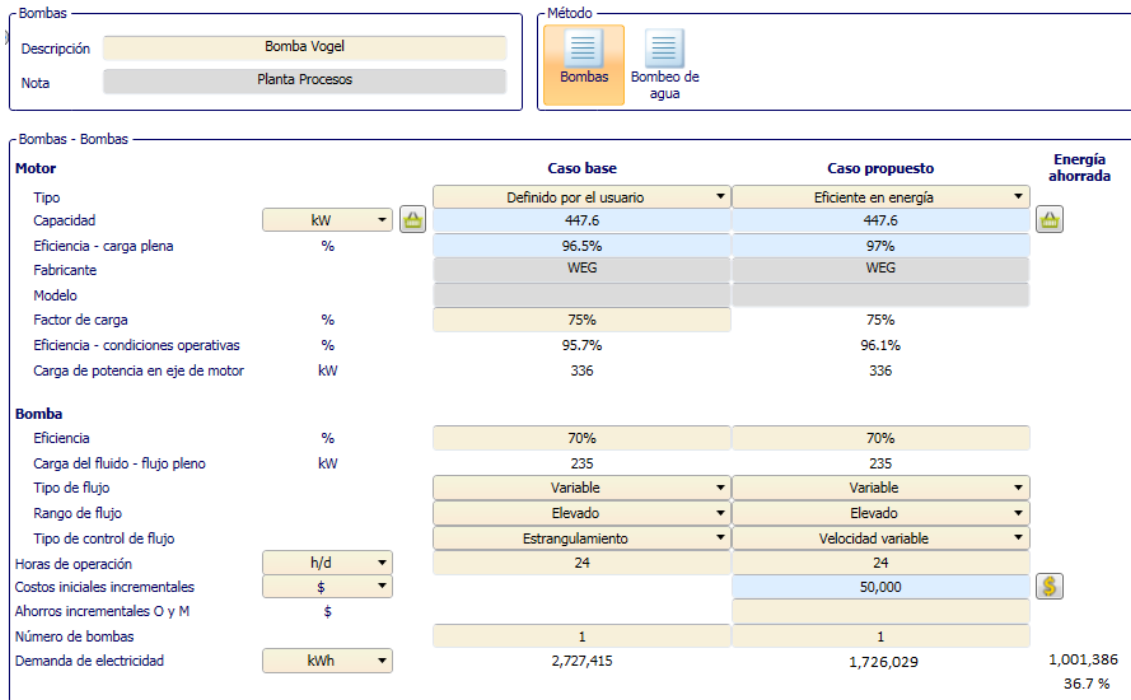
Figura 3.16 Detalles de bomba barren 3B



Elaboración propia (2018)

### 3.5.4.1.3. Bomba Vogel

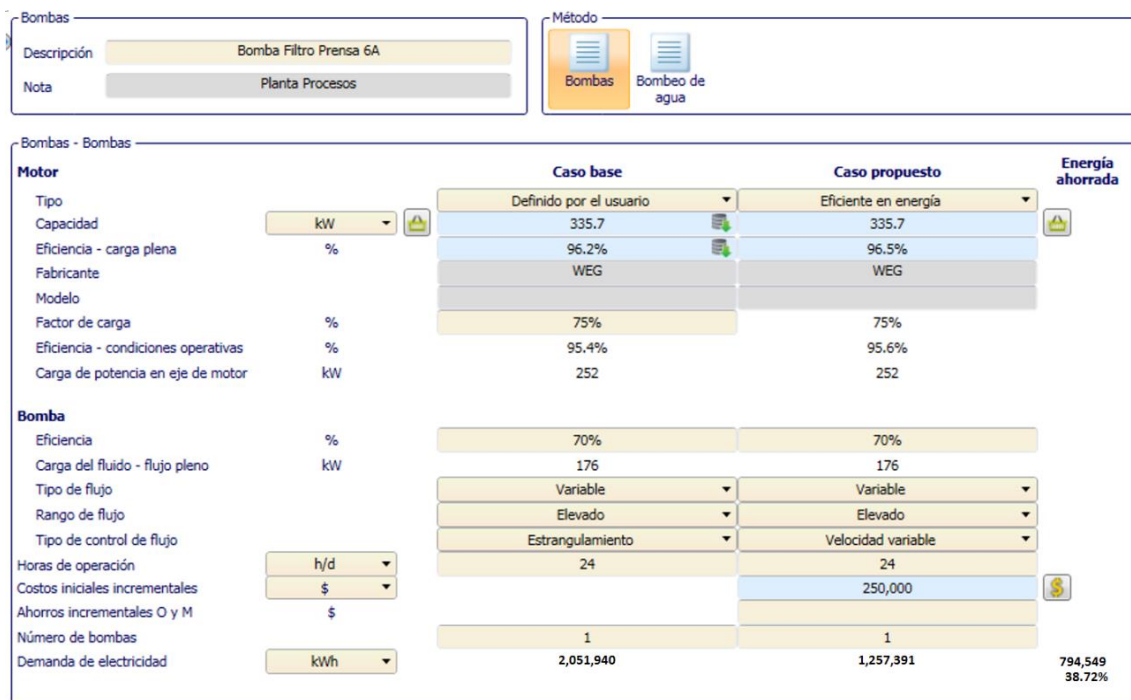
Figura 3.17 Detalles de bomba vogel



Elaboración propia (2018)

### 3.5.4.1.4. Bomba Filtro Prensa 6A

Figura 3.18 Detalles de bomba filtro prensa 6A



Elaboración propia (2018)



### 3.5.4.1.5. Bomba Filtro Prensa 6B

Figura 3.19 Detalles de bomba filtro prensa 6B

Bombas		Método	
Descripción	Bomba Filtro Prensa 6B	Bombas	Bombeo de agua
Nota	Planta Procesos		

Bombas - Bombas		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
<b>Motor</b>		Definido por el usuario	Eficiente en energía	
Tipo				
Capacidad	kW	335.7	335.7	
Eficiencia - carga plena	%	96.2%	96.5%	
Fabricante		WEG	WEG	
Modelo				
Factor de carga	%	75%	75%	
Eficiencia - condiciones operativas	%	95.4%	95.6%	
Carga de potencia en eje de motor	kW	252	252	
<b>Bomba</b>				
Eficiencia	%	70%	70%	
Carga del fluido - flujo pleno	kW	176	176	
Tipo de flujo		Variable	Variable	
Rango de flujo		Elevado	Elevado	
Tipo de control de flujo		Estrangulamiento	Velocidad variable	
Horas de operación	h/d	24	24	
Costos iniciales incrementales	\$		250,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de bombas		1	1	
Demanda de electricidad	kWh	2,051,940	1,257,391	794,549 38.72%

Elaboración propia (2018)

### 3.5.4.1.6. Bomba Pregnant 1

Figura 3.20 Detalles de bomba pregnant 1

Bombas		Método	
Descripción	Bomba Pregnant 1	Bombas	Bombeo de agua
Nota	Planta Procesos		

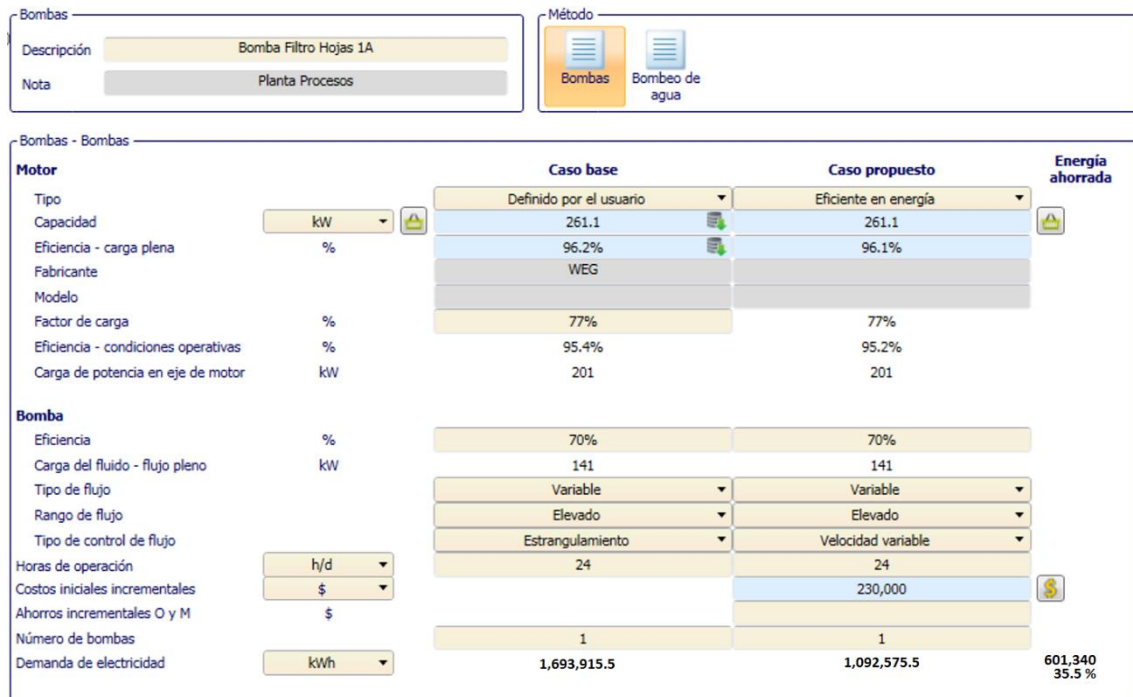
  

Bombas - Bombas		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
<b>Motor</b>		Definido por el usuario	Eficiente en energía	
Tipo				
Capacidad	kW	223.8	223.8	
Eficiencia - carga plena	%	96.2%	95.8%	
Fabricante		WEG	WEG	
Modelo				
Factor de carga	%	39%	39%	
Eficiencia - condiciones operativas	%	93.4%	93%	
Carga de potencia en eje de motor	kW	87.3	87.3	
<b>Bomba</b>				
Eficiencia	%	70%	70%	
Carga del fluido - flujo pleno	kW	61.1	61.1	
Tipo de flujo		Variable	Variable	
Rango de flujo		Elevado	Elevado	
Tipo de control de flujo		Estrangulamiento	Velocidad variable	
Horas de operación	h/d	24	24	
Costos iniciales incrementales	\$		230,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de bombas		1	1	
Demanda de electricidad	kWh	1,381,686.5	848,355.5	533,331 38.6%

Elaboración propia (2018)

### 3.5.4.1.7. Bomba Filtro Hojas 1 A

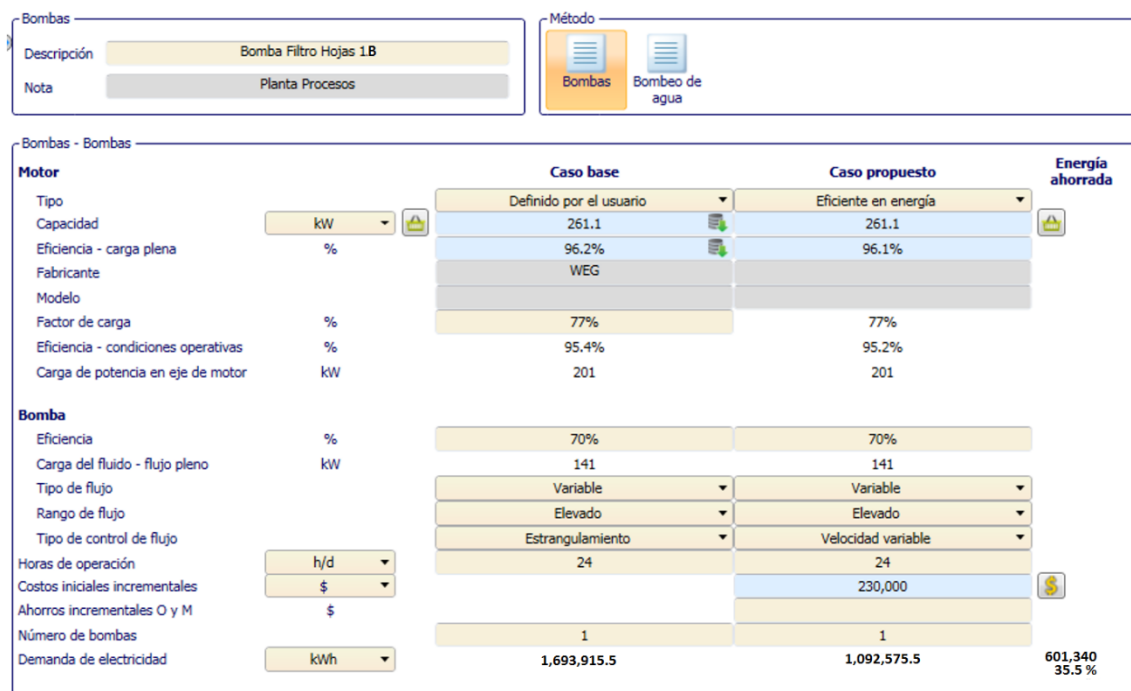
Figura 3.21 Detalles de bomba filtro hojas 1A



Elaboración propia (2018)

### 3.5.4.1.8. Bomba Filtros Hojas 1B

Figura 3.22 Detalles de bomba filtros hoja 1B



Elaboración propia (2018)

**3.5.4.1.9. Horno de Inducción 1**

Figura 3.23 Detalles de horno de inducción 1

Equipo eléctrico									
Descripción	Horno de induccion 1								
Nota									
Equipo eléctrico									
Descripción	Caso base			Caso propuesto			Costos iniciales incrementales		
	Cantidad	Horas de operación h/d	Carga eléctrica W	Ciclo de utilización %	Cantidad	Horas de operación h/d		Carga eléctrica W	Ciclo de utilización %
Horno de induccion 1	1	16	150	80%	1	13	150	80%	\$ 0
<b>Total</b>									0
Costos iniciales incrementales	\$	Caso base		Caso propuesto	Energía ahorrada				
Ahorros incrementales O y M	\$			0					
Demanda de electricidad	kWh	734,521.3		596,431.3	138,090	18.8%			

Elaboración propia (2018)

**3.5.4.1.10. Horno de Inducción 2**

Figura 3.24 Detalles de horno de inducción 2

Equipo eléctrico									
Descripción	Horno de induccion 2								
Nota									
Equipo eléctrico									
Descripción	Caso base			Caso propuesto			Costos iniciales incrementales		
	Cantidad	Horas de operación h/d	Carga eléctrica W	Ciclo de utilización %	Cantidad	Horas de operación h/d		Carga eléctrica W	Ciclo de utilización %
Horno de induccion 2	1	16	150	80%	1	13	150	80%	\$ 0
<b>Total</b>									0
Costos iniciales incrementales	\$	Caso base		Caso propuesto	Energía ahorrada				
Ahorros incrementales O y M	\$			0					
Demanda de electricidad	kWh	734,521.3		596,431.3	138,090	18.8%			

Elaboración propia (2018)

**3.5.4.2. Planta CIC**

En planta CIC, todas las bombas cuentan con variadores de velocidad por lo que este proceso se encuentra trabajando eficientemente. En esta área lo que se va buscar es reemplazar los actuales luminare por unas de mejor eficiencia tipo led. Un punto importante de esta área es que todos los VFD cuentan con filtros de armónicos, los cuales cuentan con circuitos RLC que ayudan para el arranque del motor, mejor el nivel de tensión y reducir las pérdidas en el sistema de distribución.

**3.5.4.3. Planta RO y tratamiento secundario de aguas**

Los motores de mayor potencia en la planta RO y tratamiento Secundario cuenta con variadores de frecuencia, así también todos los motores cuentan con la especificación

técnica de “Energy Saving”. Por consiguiente, acá también vamos a evaluar las posibilidades técnicas de reemplazar las luminarias actuales por otras de mayor eficiencia como son las de lámparas led.

**3.5.4.4. Bombas booster**

En esta área también las bombas cuentan con variadores de velocidad y cada motor está trabajando a un 65% de su plena carga. La recomendación para este proceso es monitorear el flujo (m<sup>3</sup>/s) de cada bomba y ver la posibilidad de operar el proceso solo con una bomba booster.

**3.5.4.4. Chancado primario**

Esta iniciativa está enfocada en mejorar el desempeño de las fajas transportadoras a través de los mantenimientos preventivos y predictivos para que puedan trabajar dentro de los límites de operación normal que indica el fabricante.

Figura 3.25 Inversión en mantenimiento de faja 1

Mantenimiento Faja 1	Cantidad	HP	Nom KW	Corriente Carga Actual	Corriente de carga de Faja Nominal	Perdida (KW)	Energía Annual(KWH)	Ahorros @ \$0.07/kwh
	1	250.7	187	29.2	28	8.71	76,291.61	\$5,340.41
	Estimado ROI			Inversion=	\$10,000			
						Payback (years)		1.87
						Energy Reduction (KWH)		76,291.61
						GHG Reduction(Tonnes CO2)		7.55

Elaboración propia (2018)

**3.5.4.5. Chancado Secundario**

De igual manera, esta iniciativa está enfocada en mejorar el desempeño de las fajas transportadoras (Faja 2 y 5) a través de los mantenimientos preventivos y predictivos para que de esta manera se puedan trabajar dentro de los límites de operación normal establecidos por el fabricante.

Figura 3.26 Inversión en mantenimiento de faja 2 y 5

Mantenimiento Faja 2	Cantidad	HP	Nom KW	Corriente Carga Actual	Corriente de carga de Faja Nominal	Perdida (KW)	Energia Annual(KWH)	Ahorros @ \$0.07/kwh
	1	703.8	525	82	78	24.45	214,187.68	\$14,993.14
	Estimado ROI			Inversion= \$10,000				
							Payback (years)	0.67
							Energy Reduction (KWH)	214,187.68
							GHG Reduction(Tonnes CO2)	21.20

Mantenimiento Faja 5	Cantidad	HP	Nom KW	Corriente Carga Actual	Corriente de carga de Faja Nominal	Perdida (KW)	Energia Annual(KWH)	Ahorros @ \$0.07/kwh
	1	603.2	450	73.0	69	21.80	190,933.02	\$13,365.31
	Estimado ROI			Inversion= \$10,000				
							Payback (years)	0.75
							Energy Reduction (KWH)	190,933.02
							GHG Reduction(Tonnes CO2)	18.90

Elaboración propia (2018)

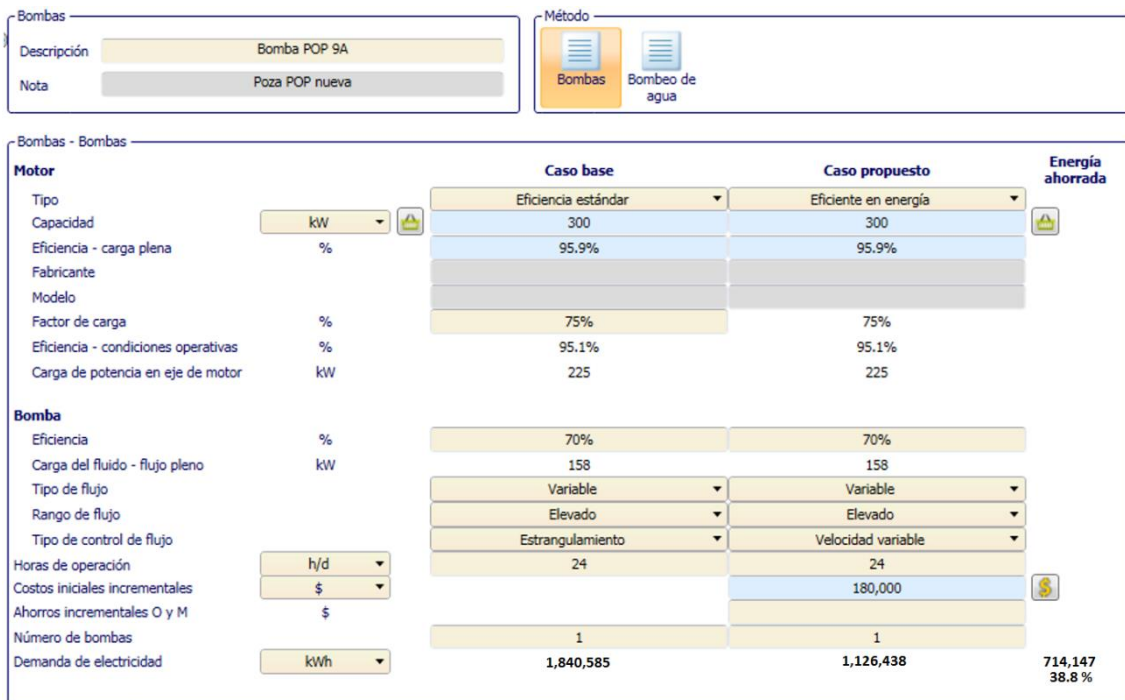
### 3.5.4.6. Ore Bin

En Ore Bin se cambiara las luminarias actuales y reemplazarlas por luminarias led de mayor eficiencia.

### 3.5.4.7. Bombas POP

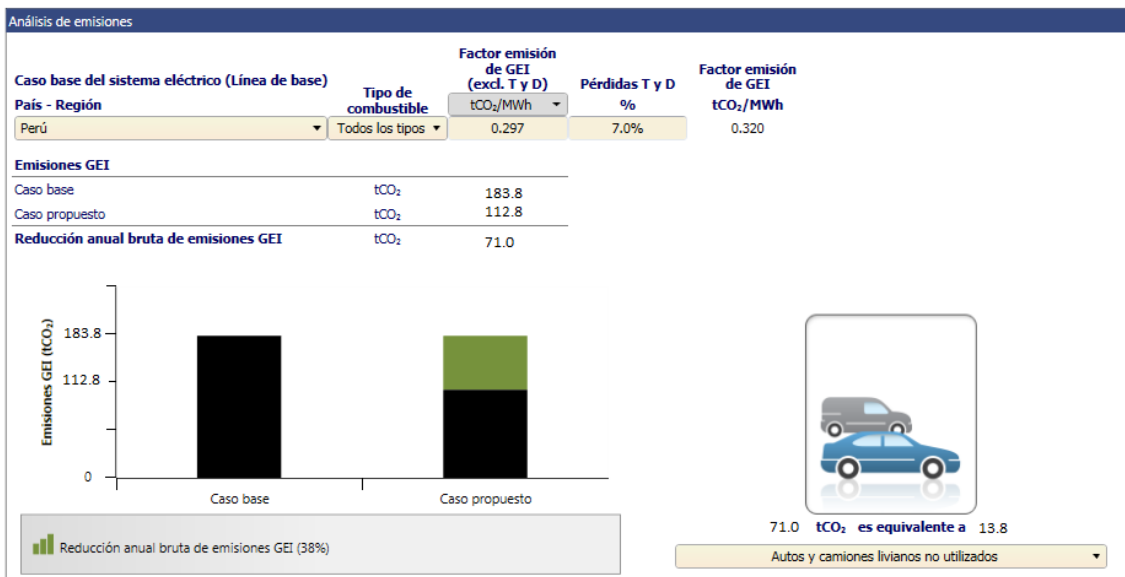
El factor de carga considerado para la bomba POP 9A es de 75% y la eficiencia de la bomba es de 70%. Si consideramos la instalación de un variador de frecuencia para el control de flujo de la bomba podemos tener un ahorro de energía.

Figura 3.27 Detalles de bomba POP



Elaboración propia (2018)

Figura 3.28 Reducción de tCO2 por la instalación de VDF para bomba POP



Elaboración propia (2018)

Figura 3.29 Ahorro tras la instalación de VDF en bomba POP

Show:	Heating	Cooling	Electricity	Incremental initial costs	Fuel cost savings	Incremental O&M savings	Simple payback	Include measure?
Energy saved	kWh	kWh	kWh	\$	\$	\$	yr	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Pumps:</b>								
Bomba POP 9A			714,147	180,000	49,990	0	3.6	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Total</b>			<b>714,147</b>	<b>180,000</b>	<b>49,990</b>	<b>0</b>	<b>3.6</b>	

Elaboración propia (2018)

### 3.5.4.8. Bombas PLS

Los motores de mayor potencia cuentan con variadores de frecuencia marca Rockwell, además los motores son de especificaciones técnicas “Energy Saving” los cuales tienen una alta eficiencia. Otra cosa de lo que hemos encontrado es que todos los VFD cuentan con filtros de armónicos, todos los VDF cuentan con circuitos RLC los cuales ayudan al arranque del motor, mejor el nivel de tensión y reducir las pérdidas en el sistema de distribución.

### 3.5.4.9. Poza ARD y Polishing

De igual manera los motores de mayor capacidad cuentan con variadores de velocidad, para ser más eficientes en esta área se va revisar la factibilidad de instalar lámparas led en lugar de las convencionales existentes.

### 3.5.5. Eficiencia energética en compresoras

A continuación, se detalla los datos ingresados al software para que genere ahorros de electricidad por la instalación de variadores de frecuencia (VDF) para el funcionamiento de compresoras de diferentes ubicaciones dentro del recinto minero.



### 3.5.5.1. Compresora de Aire de Planta 010

Figura 3.30 Detalles de compresora de planta 010

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor de aire de planta 010		
Nota		Merril Crowe		
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	450	450	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiente en energía	Eficiente en energía	
Capacidad	kW	91.75	91.75	
Eficiencia - carga plena	%	94.4%	95.4%	
Fabricante		INGERSOLLRAND	INGERSOLLRAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	155	155	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	529.72	529.72	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	42.3776	42.3776	
Flujo de fuga	%	9.4%	9.4%	
Factor de carga	%	127%	127%	
Demanda de aire útil	h/d	12	10	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		70,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	822,548	374,799	447,749 34.4 %

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.2. Compresora de Aire de Planta 011

Figura 3.31 Detalles de compresora de planta 011

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor de aire de planta 011		
Nota		Merril Crowe		
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	450	450	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiente en energía	Eficiente en energía	
Capacidad	kW	91.75	91.75	
Eficiencia - carga plena	%	94.4%	95.4%	
Fabricante		INGERSOLLRAND	INGERSOLLRAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	155	155	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	529.72	529.72	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	42.3776	42.3776	
Flujo de fuga	%	9.4%	9.4%	
Factor de carga	%	127%	127%	
Demanda de aire útil	h/d	12	10	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		70,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	822,548	374,799	447,749 34.4 %

Elaboración propia (2018)



### 3.5.5.3. Compresor de Instrumentación de Planta

Figura 3.32 Detalles de compresora de instrumentación planta

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor de intrumentacion de planta		
Nota				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	400	400	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	149.2	149.2	
Eficiencia - carga plena	%	85.1%	85.1%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	128	128	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	250	250	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	20	20	
Flujo de fuga	%	5%	5%	
Factor de carga	%	67.5%	67.5%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		70,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	3,723,289	2,926,505	796,784 21.4 %

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.4. Compresor de Truck Shop 013

Figura 3.33 Detalles de compresora de Truck Shop

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor de Truck Shop 013		
Nota				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	470	470	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	149.2	149.2	
Eficiencia - carga plena	%	85.1%	85.1%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	128	128	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	250	250	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	20	20	
Flujo de fuga	%	4.3%	4.3%	
Factor de carga	%	57.4%	57.4%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		70,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	1,401,380	609,295	792,085 56.5 %

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.5. Compresor de Laboratorio Químico

Figura 3.34 Detalles de compresora de Laboratorio químico

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor de Laboratorio Químico		
Nota				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	124,5	124,5	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	67,14	67,14	
Eficiencia - carga plena	%	92,1%	92,1%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	121	121	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	82	82	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	5	5	
Flujo de fuga	%	4%	4%	
Factor de carga	%	69,9%	69,9%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		10,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	316,477	202,115	114,362 36%

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.6. Compresor de Planta RO

Figura 3.35 Detalles de compresora planta RO

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor de Planta RO		
Nota				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	200	200	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	67,14	67,14	
Eficiencia - carga plena	%	92,1%	92,1%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	129	129	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	110	110	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	10	10	
Flujo de fuga	%	5%	5%	
Factor de carga	%	60%	60%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		10,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	1,003,625	818,958	184,667 18.4%

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.7. Compresora Chancado Primario

Figura 3.36 Detalles de compresora chancado primario

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor de Chancado Primario		
Nota				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	470	470	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	149.2	149.2	
Eficiencia - carga plena	%	85.1%	85.1%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	130	130	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	355	355	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	20	20	
Flujo de fuga	%	4.3%	4.3%	
Factor de carga	%	79.8%	79.8%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		150,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	3,595,985	2,862,404	733,581 20.4 %

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.8. Compresora Chancado Secundario

Figura 3.37 Detalles de compresora chancado secundario

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor de Chancado Secundario		
Nota				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	470	470	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	149.2	149.2	
Eficiencia - carga plena	%	85.1%	85.1%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	130	130	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	355	355	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	20	20	
Flujo de fuga	%	4.3%	4.3%	
Factor de carga	%	79.8%	79.8%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		150,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	3,595,985	2,862,404	733,581 20.4 %

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.9. Compresora Truck Shop 013B

Figura 3.38 Detalles de compresora truck shop 013B

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor de Truck Shop 013B		
Nota				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	470	470	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	150	150	
Eficiencia - carga plena	%	85.1%	85.1%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	139	139	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	300	300	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	20	20	
Flujo de fuga	%	4.3%	4.3%	
Factor de carga	%	68.1%	68.1%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		150,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	3,365,176.2	2,601,281.2	763,895 22.7 %

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.11. Soplador de Tanques de Destrucción de Cianuro 017

Figura 3.39 Detalles de soplador de tanques de destrucción de cianuro 017

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Soplador de tanques de destruccion de cianuro 017		
Nota				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	272	272	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	111.9	111.9	
Eficiencia - carga plena	%	93.6%	93.6%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	139	139	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	300	300	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	20	20	
Flujo de fuga	%	7.4%	7.4%	
Factor de carga	%	118%	118%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		150,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	2,899,505.5	2,371,795.5	527,710 18.2 %

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.12. Soplador Tanques de Destrucción de Cianuro 021

Figura 3.40 Detalles de soplador de tanques de destrucción de cianuro 021

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Soplador de tanques de destrucción de cianuro 021		
Nota				
Aire comprimido				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	272	272	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	111.9	111.9	
Eficiencia - carga plena	%	93.6%	93.6%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	139	139	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	300	300	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	20	20	
Flujo de fuga	%	7.4%	7.4%	
Factor de carga	%	118%	118%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		150,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	2,899,505.5	2,371,795.5	527,710 18.2 %

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.13. Compresor Sparjet ARD

Figura 3.41 Detalles de Compresor Sparjet ARD

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Compresor Sparjet ARD		
Nota				
Aire comprimido				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tornillo rotativo	Tornillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	1,350	1,350	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	156.7	156.7	
Eficiencia - carga plena	%	94.4%	94.4%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	200	200	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	450	450	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	20	20	
Flujo de fuga	%	1.5%	1.5%	
Factor de carga	%	34.8%	34.8%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	12	
Costos iniciales incrementales	\$		170,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	2,906,831.9	1,903,974.9	1,002,857 34.5 %

Elaboración propia (2018)

### 3.5.5.14. Soplador de Tanques de Destrucción de Cianuro 019

Figura 3.42 Detalles de Soplador de Tanques de Destrucción de Cianuro 019

Aire comprimido		Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Descripción		Soplador de tanques de destruccion de cianuro 019		
Nota				
Aire comprimido				
<b>Compresor</b>				
Tipo		Tomillo rotativo	Tomillo rotativo	
Capacidad	pie <sup>3</sup> /min	272	272	
<b>Motor</b>				
Tipo		Eficiencia estándar	Eficiencia estándar	
Capacidad	kW	111.9	111.9	
Eficiencia - carga plena	%	93.6%	93.6%	
Fabricante		INGERSOLL RAND	INGERSOLL RAND	
Modelo				
Ubicación de admisión de aire		Interior	Interior	
Presión del sistema	psig	139	139	
Control de capacidad		Cargar/descargar	Velocidad variable	
Demanda de aire útil promedio	pie <sup>3</sup> /min	300	300	
Fuga promedio de aire	pie <sup>3</sup> /min	20	20	
Flujo de fuga	%	7.4%	7.4%	
Factor de carga	%	118%	118%	
Demanda de aire útil	h/d	12	12	
Horas de operación	h/d	12	10	
Costos iniciales incrementales	\$		150,000	
Ahorros incrementales O y M	\$			
Número de compresores		1	1	
Electricidad	kWh	2,899,505.5	2,371,795.5	527,710 18.2 %

Elaboración propia (2018)

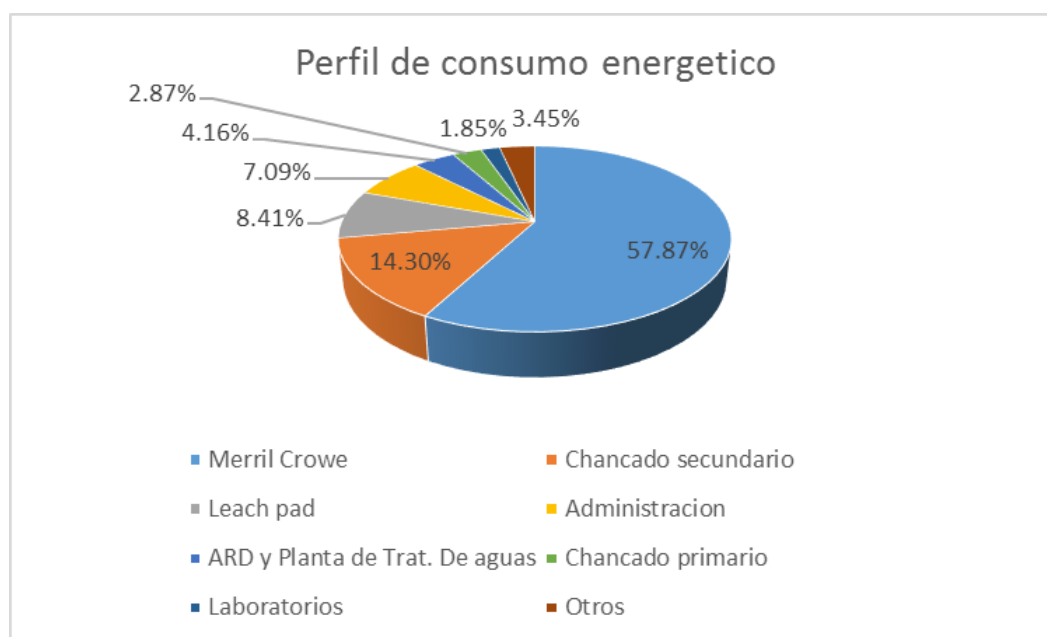
## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Perfil de consumo de energía eléctrica

De acuerdo a la información obtenida, el perfil de consumo energético resulto el siguiente:

Figura 4.1 Perfil de consumo energético de la operación minera



Elaboración propia (2018)

El anterior gráfico, podemos apreciar en solo tres procesos (Merrill Crowe, Chancado primario y secundario, Leach Pad) consumen 83.45% de la energía eléctrica total.

#### 4.2. Resultados del análisis de precios de energía

Se puede apreciar en la siguiente tabla los detalles del cobro de energía eléctrica, los costos de peajes de conexión representan un 29% aproximadamente del costo total de energía. El costo del peaje de conexión total, está compuesto por el peaje de conexión, peajes de área de demanda, peajes de conexión (Case SI y GE) y el fondo de inclusión social energética.

Tabla 4.1 Precios de la energía eléctrica en la operación

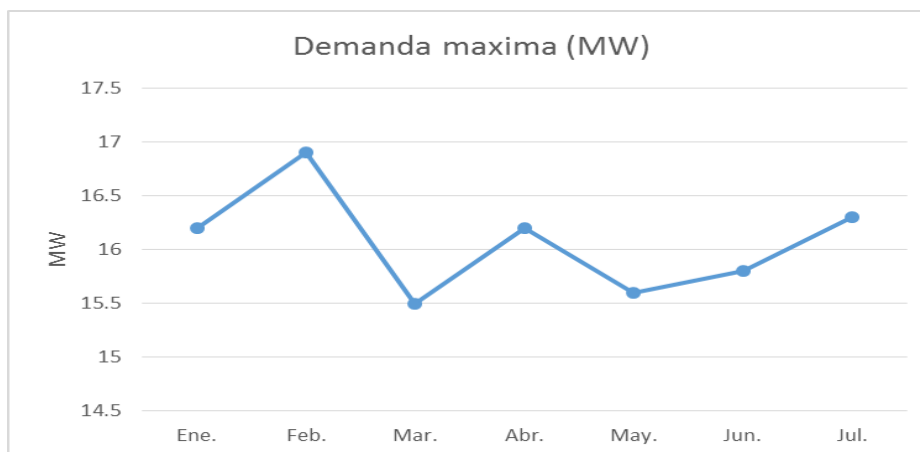
N°	Description	Jan-18	feb-18	mar-18	Apr-18	may-18	jun-18	jul-18
1	Energia en Hora Punta(US\$/kwh)	0.04589	0.04589	0.04589	0.04589	0.04589	0.04589	0.04589
2	Energia en Hora Fuera de Punta(US\$/kwh)	0.04387	0.04387	0.04387	0.04387	0.04387	0.04387	0.04387
3	Maxima Demanda coincidente SEIN (US\$/Kw)	6.89	6.89	6.89	6.89	6.89	6.89	6.89
4	Peaje de Conexion(S//Kw)	28.851	29.492	29.844	29.546	26.239	27.331	27.442
5	Peaje area de demanda 3(S//Kwh)	0.001618	0.001619	0.001619	0.001604	0.001413	0.001413	0.001413
6	Peaje area de demanda 15(S//kwh)	0.002334	0.002111	0.002085	0.002075	0.001759	0.001759	0.001759
7	Peaje de Conexion (Case SI) S//kw	1.194	1.194	1.194	1.194	3.544	3.544	3.544
8	Peaje de Conexion (Case GE) S//kw	0.358	0.374	0.376	0.376	0.842	0.842	0.842
9	Fonde Inclusion Social Energetica(S//Kwh)	0.007024	0.007178	0.006509	0.006806	0.006697	0.006332	0.006641
10	Energia en Hora Punta (kwh)	1,680,353.00	1,718,212.00	1,636,145.00	1,795,524.00	1,674,259.00	1,667,729.00	1,618,471.00
11	Energia en Hora Fuera de Punta(kwh)	8,483,060.00	7,726,320.00	8,007,349.00	8,003,302.00	7,833,780.00	7,897,526.00	8,376,266.00
12	Maxima Demanda coincidente con el SEIN (Kw)	14,017.00	14,366.00	11,756.00	13,712.00	13,133.00	11,059.00	13,212.00
13	Peaje de Conexion(Kw)	14,017.00	14,366.00	11,756.00	13,712.00	13,133.00	11,059.00	13,212.00
14	Energia de Peaje de Conexion(Kwh)	10,163,413.00	9,430,387.00	9,629,050.00	9,784,150.00	9,493,798.00	9,550,929.00	9,979,767.00
15	Peaje de Conexion (Case SI) Kw	14,017.00	14,366.00	11,756.00	13,712.00	13,133.00	11,059.00	13,212.00
16	Peaje de Conexion (Case GE) KW	14,017.00	14,366.00	11,756.00	13,712.00	13,133.00	11,059.00	13,212.00
17	Energia de Fondo Inclusion Social(Kwh)	10,163,413.00	9,444,532.00	9,643,494.00	9,798,826.00	9,508,039.00	9,565,255.00	9,994,737.00
18	Costo Total de Peaje de Conexion(US\$)	162,943.17	166,922.84	143,919.53	162,876.70	151,215.79	135,052.31	159,551.51
19	Costo de Peajes(US\$/M WH)	16.03	17.67	14.92	16.62	15.9	14.12	15.96
20	Costo Total de Energia (US\$/M WH)	53.71	54.72	52.61	53.88	53.74	52.19	53.3
21	Costo de Total de Energia(US\$)	545,840.37	516,784.15	507,363.93	527,977.14	510,986.04	499,193.06	532,769.10
22	Costo Monomico de Energia(US\$/Kwh)	0.06974	0.07239	0.06754	0.0705	0.06965	0.06631	0.06927

Elaboración propia (2018)

### 4.3. Demanda máxima del sistema eléctrico

Para evaluar los cálculos de pérdidas en sistemas de distribución primero debemos saber la máxima demanda de la operación minera. Como vemos en la figura 34 la máxima demanda de la operación minera es 16.9 MW

Figura 4.2 Máxima demanda del sistema eléctrico



Elaboración propia (2018)



#### 4.4. Resultados de planta procesos Merrill Crowe

A continuación, se detalla los ahorros de electricidad por la instalación de variadores de frecuencia (VDF) para el funcionamiento de bombas de la planta procesos, como podemos apreciar las bombas barren y Vogel tienen un menor costo de inversión debido a que estas bombas anteriormente tenían instalados VDF y se recomienda volver a ponerlos en operación para poder incrementar la eficiencia de energía en el funcionamiento de las bombas, también se muestra las tCO<sub>2</sub> que se redujo.

Para los hornos de inducción no se tiene costo de inversión y se pueden obtener ahorros de energía eléctrica solo reduciendo las horas de operación de 16 hasta 13 horas por día.

Figura 4.3 Resultados de análisis de planta Merrill Crowe

Show: All	Heating	Cooling	Electricity	Incremental initial costs	Fuel cost savings	Incremental O&M savings	Simple payback	Include measure?
Energy saved	kWh	kWh	kWh	\$	\$	\$	yr	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Pumps</b>								
Bomba Barren 3A			1,001,386	50,000	70,097	0	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba Barren 3B			1,001,386	50,000	70,097	0	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba Vogel			1,001,386	50,000	70,097	0	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba Filtro Prensa 6A			794,549	250,000	55,618	0	4.5	<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba Filtro Prensa 6B			794,549	250,000	55,618	0	4.5	<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba Pregnant 1			533,331	230,000	37,333	0	6.2	<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba Filtros Hojas 1A			601,340	230,000	42,094	0	5.5	<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba Filtros Hojas 1B			601,340	230,000	42,094	0	5.5	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Total</b>			<b>6,329,266</b>	<b>1,340,000</b>	<b>443,049</b>	<b>0</b>	<b>3.0</b>	

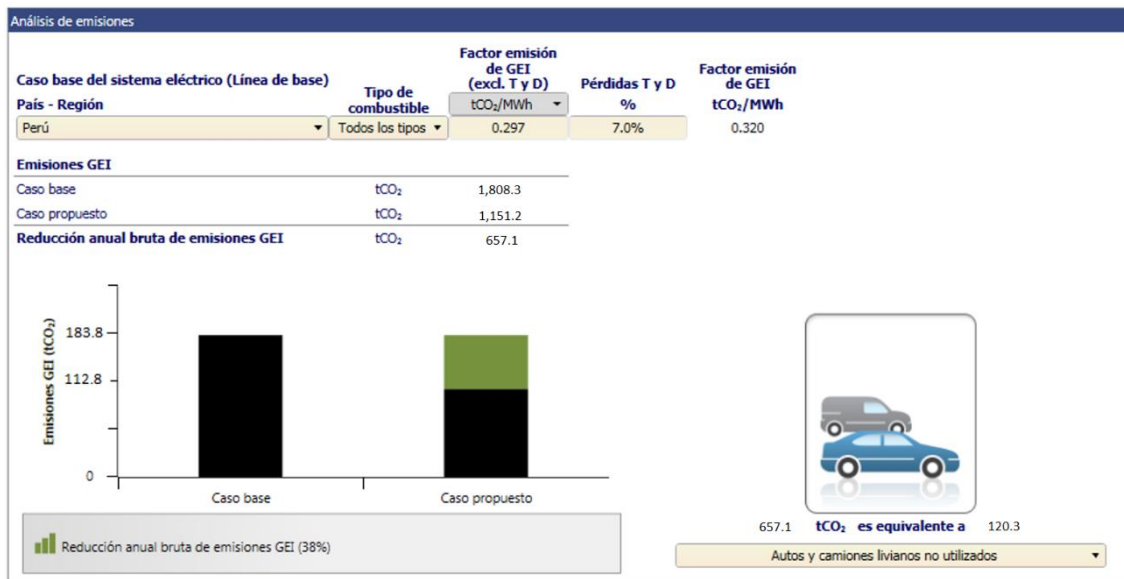
Elaboración propia (2018)

Figura 4.4 Resultados de análisis de hornos de inducción

Show: All	Heating	Cooling	Electricity	Incremental initial costs	Fuel cost savings	Incremental O&M savings	Simple payback	Include measure?
Energy saved	kWh	kWh	kWh	\$	\$	\$	yr	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Motors</b>								
Horno de Induccion 1			138,090	0	9,666	0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
Horno de Induccion 2			138,090	0	9,666	0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Total</b>			<b>276,179</b>	<b>0</b>	<b>19,333</b>	<b>0</b>	<b>0.0</b>	

Elaboración propia (2018)

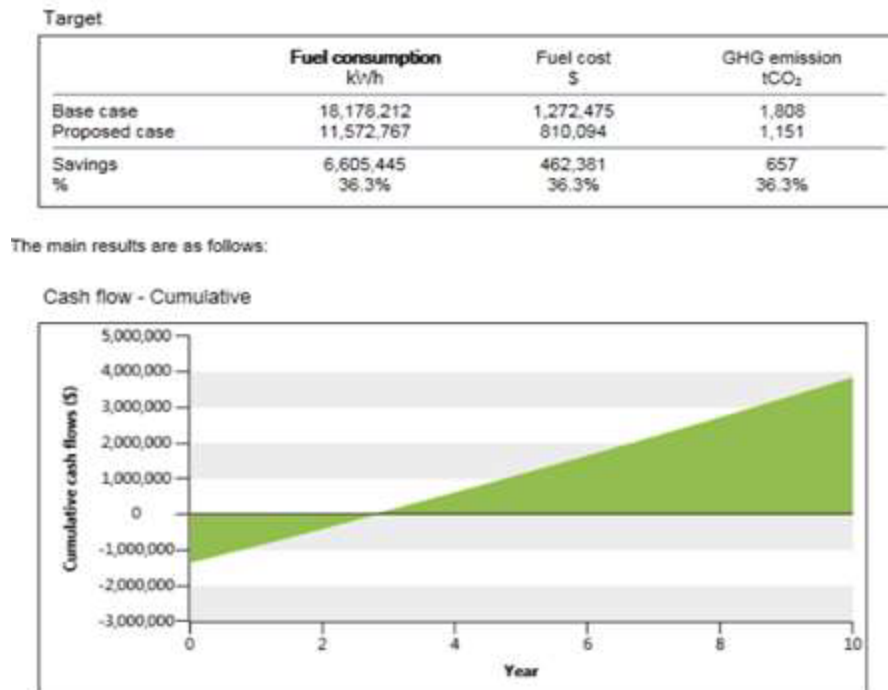
Figura 4.5 Reducción de tCO2 en la planta Merrill Crowe



Elaboración propia (2018)

Para obtener un ahorro anual \$ 462,381, se necesita una inversión de \$ 1 340 000.00, el cual tiene un payback de 2.9 años para recuperar la inversión.

Figura 4.6 Ahorro y payback de inversión en planta procesos Merrill Crowe



Elaboración propia (2018)

Figura 4.7 Inversión inicial en planta procesos Merrill Crowe

Financial viability

Financial parameters

Inflation rate	%	2%
Project life	yr	10

Costs | Savings | Revenue

<b>Initial costs</b>			
Incremental initial costs	100%	\$	1,340,000
<hr/>			
Total initial costs	100%	\$	1,340,000
<b>Annual costs and debt payments</b>			
O&M costs (savings)		\$	0
Fuel cost - proposed case		\$	810,094
<hr/>			
Total annual costs		\$	810,094
<b>Annual savings and revenue</b>			
Fuel cost - base case		\$	1,272,475
<hr/>			
Total annual savings and revenue		\$	1,272,475

Financial viability

Pre-tax IRR - assets	%	35.1%
Simple payback	yr	2.9
Equity payback	yr	2.8

Elaboración propia (2018)

Hemos analizado también el riesgo del proyecto, en donde podemos apreciar el costo de energía eléctrica es el factor más importante para poder mejorar la eficiencia energética en la operación minera. También podemos observar que el TIR tiene un promedio de 35.1 % y el VAN es igual a \$ 1 272 475.00.

**4.5. Resultados de bombas POP**

Para obtener un ahorro anual \$ 49 990.00 se necesita una inversión de \$1 839 313.00 el cual tiene un payback de 3.8 años para recuperar la inversión inicial.

Figura 4.8 Ahorro economico obtenido en Bombas POP

Target

	Fuel consumption kWh	Fuel cost \$	GHG emission tCO <sub>2</sub>
Base case	1,839,313	128,752	183
Proposed case	1,125,166	78,762	112
Savings	714,147	49,990	71
%	38.8%	38.8%	38.8%

Elaboración propia (2018)

Figura 4.9 Ahorro de energía en bombas POP

Fuel consumption	Heating kWh	Cooling kWh	Electricity kWh	Total kWh
Base case	0	0	1,839,313	1,839,313
Proposed case	0	0	1,125,166	1,125,166
Fuel saved	0	0	714,147	714,147
Fuel saved - percent	0%	0%	38.8%	38.8%

Elaboración propia (2018)

Figura 4.10 Inversión inicial y payback en bombas POP

Financial viability

Financial parameters

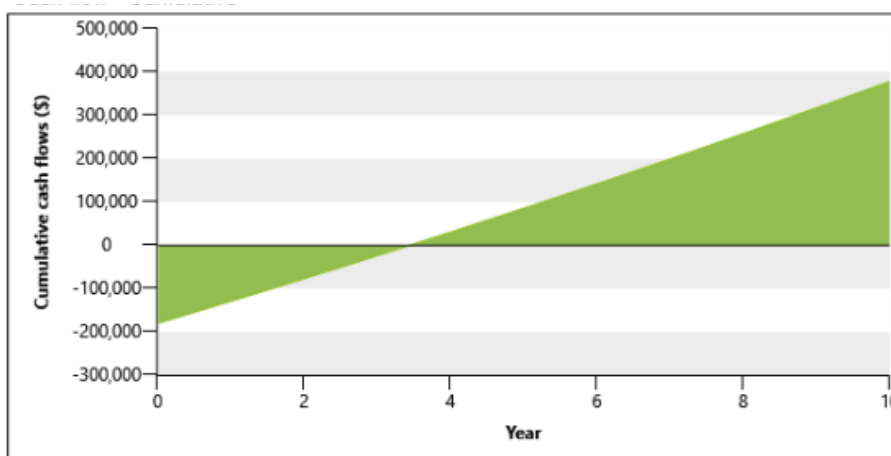
Inflation rate	%	2%
Project life	yr	10

Costs | Savings | Revenue

<b>Initial costs</b>			
Incremental initial costs	100%	\$	180,000
<b>Total initial costs</b>	<b>100%</b>	<b>\$</b>	<b>180,000</b>
<b>Annual costs and debt payments</b>			
O&M costs (savings)		\$	0
Fuel cost - proposed case		\$	78,762
<b>Total annual costs</b>		<b>\$</b>	<b>78,762</b>
<b>Annual savings and revenue</b>			
Fuel cost - base case		\$	128,752
<b>Total annual savings and revenue</b>		<b>\$</b>	<b>128,752</b>

Financial viability

Pre-tax IRR - assets	%	27.2%
Simple payback	yr	3.6
Equity payback	yr	3.4



Elaboración propia (2018)

También podemos observar que el TIR tiene un promedio de 27.2 % en las bombas POP y un VAN igual a \$ 128 752.00.

#### 4.6. Resultado de compresoras.

A continuación, se detalla los ahorros de electricidad por la instalación de variadores de frecuencia (VDF) para el funcionamiento de compresoras de diferentes ubicaciones dentro del recinto minero. Si implementamos todos los proyectos podemos obtener un ahorro anual de \$ 532 031.00 pero para tal propósito se necesita una inversión inicial de 1 370 000.00, el cual puede ser recuperado en 2.6 años.

Figura 4.11 Resultados de compresoras

Show: All	Heating	Cooling	Electricity	Incremental initial costs	Fuel cost savings	Incremental O&M savings	Simple payback	Include measure?
Fuel saved	kWh	kWh	kWh	\$	\$	\$	yr	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Compressed air</b>								
Compresora de Aire de Planta 010			447,749	70,000	31,342	0	2.2	<input checked="" type="checkbox"/>
Compresora de Aire de Planta 011			447,749	70,000	31,342	0	2.2	<input checked="" type="checkbox"/>
Compresor de Instrumentacion de Planta			796,784	70,000	55,775	0	1.3	<input checked="" type="checkbox"/>
Compresor de Truck Shop 013			792,085	70,000	55,446	0	1.3	<input checked="" type="checkbox"/>
Compresor Laboratorio Quimico			114,362	10,000	8,005	0	1.2	<input checked="" type="checkbox"/>
Compresor Planta RO			184,667	10,000	12,927	0	0.8	<input checked="" type="checkbox"/>
Compresora Chancado Primario			733,581	150,000	51,351	0	2.9	<input checked="" type="checkbox"/>
Compresora Chancado Secundario			733,581	150,000	51,351	0	2.9	<input checked="" type="checkbox"/>
Compresora Truck Shop 013			763,895	150,000	53,473	0	2.8	<input checked="" type="checkbox"/>
Soplador Tanques de Destruccion de Cianuro 017			527,710	150,000	36,940	0	4.1	<input checked="" type="checkbox"/>
Soplador Tanques de Destruccion de Cianuro 021			527,710	150,000	36,940	0	4.1	<input checked="" type="checkbox"/>
Compresor Spajet ARD			1,002,857	170,000	70,200	0	2.4	<input checked="" type="checkbox"/>
Soplador Tanques de Destruccion de Cianuro 019			527,710	150,000	36,940	0	4.1	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Total</b>			<b>7,600,439</b>	<b>1,370,000</b>	<b>532,031</b>	<b>0</b>	<b>2.6</b>	

Elaboración propia (2018)

Figura 4.12 Inversión inicial y payback en bombas POP

Financial viability

Financial parameters

Inflation rate	%	2%
Project life	yr	10

Costs | Savings | Revenue

<b>Initial costs</b>			
Incremental initial costs	100%	\$	1,370,000
<b>Total initial costs</b>	<b>100%</b>	<b>\$</b>	<b>1,370,000</b>
<b>Annual costs and debt payments</b>			
O&M costs (savings)		\$	0
Fuel cost - proposed case		\$	384,059
<b>Total annual costs</b>		<b>\$</b>	<b>384,059</b>
<b>Annual savings and revenue</b>			
Fuel cost - base case		\$	916,090
<b>Total annual savings and revenue</b>		<b>\$</b>	<b>916,090</b>

Financial viability

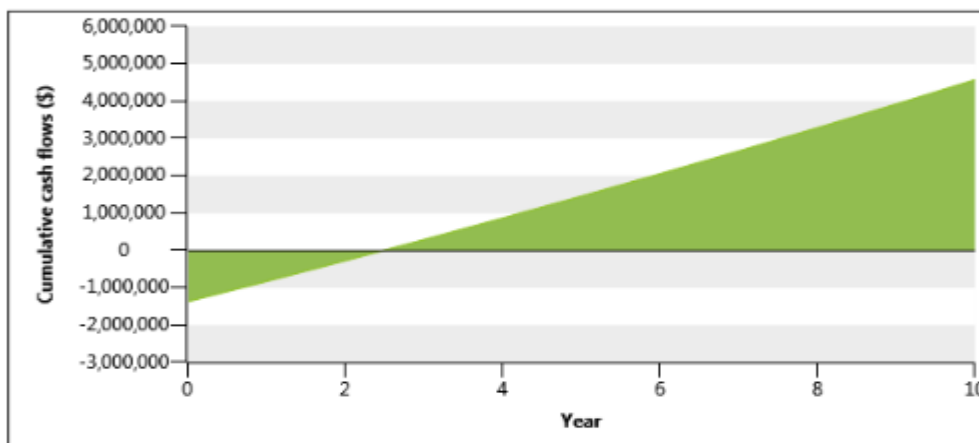
Pre-tax IRR - assets	%	39.9%
Simple payback	yr	2.6
Equity payback	yr	2.5

Target

	<b>Fuel consumption kWh</b>	<b>Fuel cost \$</b>	<b>GHG emission tCO<sub>2</sub></b>
Base case	13,086,993	916,090	1,302
Proposed case	5,486,554	384,059	546
Savings	7,600,439	532,031	756
%	58.1%	58.1%	58.1%

The main results are as follows:

Cash flow - Cumulative



Elaboración propia (2018)

También podemos observar que el TIR tiene un promedio de 39.9 % y un VAN del \$ 916 090.

#### **4.7. Resumen de inversiones y paybacks**

A continuación se muestran las mejores inversiones tomando en cuenta un retorno de la inversión (payback) menor a 3 años, por recomendaciones del MEM.



Tabla 4.2 Resumen de inversiones con payback menor a 3 años

N	Proyecto	Costo de Implementación	Ahorro Estimado (MWH)	Estimado Ahorro Año (\$)	Simple Payback(años)	Reducción de Emisiones (tCO2)
1	Operación con 3 transformadores de potencia y capacitores de 3 MVAR+banco de capacitores de 500 KVAR en bombas barren 3 A, 3B	0	411.72	\$28,548.66	0	31.22
3	Reducción de horas operativas a honor inducción 1	\$0.00	138.09	\$9,666.30	0	13.67
4	Reducción de horas operativas a honor inducción 2	\$0.00	138.09	\$9,666.30	0	13.67
5	Mantenimiento de faja 2	\$10,000.00	214.19	\$14,993.14	0.67	21.2
6	Instalación de VDF a bomba barren 3A	\$50,000.00	1,001.39	\$70,097.02	0.71	99.14
7	Instalación de VDF a bomba barren 3B	\$50,000.00	1,001.39	\$70,097.02	0.71	99.14
8	Instalación de VDF a bomba vogel	\$50,000.00	1,001.39	\$70,097.02	0.71	99.14
9	Mantenimiento de faja 5	\$10,000.00	190.93	\$13,365.31	0.75	18.9
10	Instalación de VDF a compresor planta RO	\$10,000.00	184.67	\$12,926.71	0.77	18.28
11	Instalación de VDF a compresor laboratorio químico	\$10,000.00	114.36	\$8,005.35	1.25	11.32
12	Instalación de VDF a compresor de instrumentación de planta	\$70,000.00	796.78	\$55,774.91	1.26	78.88
13	Instalación de VDF a compresor de truck shop 013	\$70,000.00	792.09	\$55,445.98	1.26	78.42
14	Mantenimiento de faja 1	\$10,000.00	76.29	\$5,340.41	1.87	7.55
15	Instalación de VDF a compresora de aire de planta 010	\$70,000.00	447.75	\$31,342.42	2.23	44.33
16	Instalación de VDF a compresora de aire de planta 011	\$70,000.00	447.75	\$31,342.42	2.23	44.33
17	Instalación de VDF a compresor sparjet ARD	\$170,000.00	1,002.86	\$70,200.01	2.42	99.28
18	Instalación de VDF a compresora truck shop 013	\$150,000.00	763.89	\$53,472.63	2.81	75.63
19	Instalación de VDF a compresora chancado primario	\$150,000.00	733.58	\$51,350.64	2.92	72.62
20	Instalación de VDF a compresora chancado secundario	\$150,000.00	733.58	\$51,350.64	2.92	72.62
	<b>Total</b>	<b>\$1,100,000.00</b>	<b>10,190.79</b>	<b>\$713,082.93</b>	<b>1.6</b>	<b>999.34</b>

Elaboración propia (2018)

Implementando lo antes mencionado se lograra reducir el consumo de energía anual en un 7%, previa consulta a la parte operativa de la mina.

## CONCLUSIONES

Se eligieron las mejores opciones de inversión en eficiencia energética en el presente trabajo realizado, para la reducción del gasto final en la factura de energía eléctrica de la operación minera, con una reducción del 7 % aproximadamente en la facturación final, cuyas opciones de inversión se tomaron con un criterio de un Payback menor a 3 años.

a. Con el trabajo realizado se muestra las áreas de mayor consumo de energía, las cuales son tres Merrill Crowe, Chancado primario y secundario, Leach Pad, con un 83.45% del total del consumo de energía, también se muestran deficiencias en la operación del sistema eléctrico de distribución, como la desconexión del banco de capacitores, la operación con dos transformadores de potencia, las pérdidas que genera, conociendo así su estado actual.

b. Se determinó el impacto económico conociendo indicadores como son el VAN, el TIR y el payback que nos sirvió para evaluar la rentabilidad y el tiempo de retorno que nos pueden dar las diferentes opciones de inversión según lo analizado, en cuyo caso resulto un payback de 1.6 años en promedio del retorno de la inversión, también se determinó el impacto medio ambiental, conociendo la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> que se ahorrarían en cada opción de inversión en eficiencia energética.

c. El estado más óptimo de operación del sistema eléctrico de distribución de la mina es operando con los tres transformadores de potencia disponibles, teniendo en cuenta la carga a la que opera el sistema, conectando el banco de capacitores en las barras principales y en la planta de procesos Merrill Crowe.

## RECOMENDACIONES

La presente tesis enmarca un estudio de eficiencia energética en el sistema de distribución de la operación minera Lagunas Norte de Barrick. Los resultados de ese estudio deben de compararse con indicadores de desempeño que se hayan obtenido o se obtendrán en similares operaciones mineras con características constructivas y actividades asociadas a su función principal. Para ello se deben tomar acciones como realizar estudios energéticos en operaciones mineras nacionales, con el propósito de obtener indicadores de desempeño energético que se utilicen como referencia para las otras operaciones mineras del país.

Capacitar a los que laboran en la operación minera en el uso eficiente de la energía a través de inducciones y seminarios con el propósito de concientizar, es buena iniciativa para la mitigar el consumo de energía que no se puede controlar de manera técnica, así como la implementación de acciones a seguir para incorporar las mejoras y reducir el consumo energético.

Para futuros estudios de investigación en el área de eficiencia energética en operaciones mineras, se sugiere abordar los problemas desde un punto de vista más general, considerando la parte operativa de la mina. Como son la cantidad de mineral disponible, los camiones fuera de borda, el combustible que consumen y la manera de reducirlos, abarcando la eficiencia energética en la parte mecánica de la operación.

## REFERENCIAS

AChEE. (2013). Guía de implementación de sistema de gestión de la energía basada en ISO 50001. Retrieved from <http://www.gestionaenergia.cl/pdf/ISO50001.pdf>

ANDI. (2014). Motores eléctricos y variadores de velocidad. Retrieved from <http://www.andi.hn/wp-content/uploads/2014/11/1-MOTORES-EL+ÉCTRICOS-Y-VARIADORES-DE-VELOCIDAD.pdf>

BID. (2011). EVALUACIÓN PARA SISTEMAS DE BOMBEO, Manual de la eficiencia energética, Washington D.C.

Cañazaca Limachi, V. R., Ramos Gomez, G., & Jamachi Espillico, C. W. (2013). *Estudio de consumo de energía eléctrica de una planta minera, para su posterior implementación con tecnología eficiente.*

Chapman, S. (2001). *Maquinas electricas. Mc GrawHill.*

CNE-GT. (2010). Código Nacional de electricidad - Guatemala - Ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de alta eficiencia. Retrieved from [http://www.cnee.gob.gt/eficienciaenergetica/FIDE/004 Módulo IV \(AEE Motores de Inducción\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/eficienciaenergetica/FIDE/004_Módulo_IV_(AEE_Motores_de_Inducción).pdf)

CREARA. (2016). *Eficiencia energética en Perú: Identificación de oportunidades.* Retrieved from [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/963/Reporte EE en Perú.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/963/Reporte_EE_en_Peru.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fisica.RU. (2012). Instrumentos de medición. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Frias, A., Gonzalez, M., Garcia, J., & Figueroa, F. (2016). *Determinación de La máxima eficiencia de un transformador de potencia trifásico utilizando métodos gráficos y analíticos.* Mexico. Retrieved from [http://congresos.cio.mx/memorias\\_congreso\\_mujer/archivos/extensos/sesion4/S4-](http://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion4/S4-)

ING09.pdf

Leiva, R., Rodriguez, E., & Begazo, J. (2013). *Utilización de Medidores Inteligentes para la Gestión de la Energía*.

Lopez, J., & Esparza, M. (2003). Analizador de redes eléctricas. *Conciencia Tecnológica*, 8. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402202%0ACómo>

Mamani Forocca, A. (2017). *Estudio de eficiencia energetica y mantenimiento centrado en la confiabilidad en las estaciones de captacion e impulsión de la empresa SEDA Juliaca S.A.* Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6083/Mamani\\_Forocca\\_Anthony\\_Alex.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6083/Mamani_Forocca_Anthony_Alex.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Marchais, J. (2007). *Generando ahorros permanentes con Soluciones de Eficiencia Energética Activa*. Retrieved from <https://docplayer.es/10064409-Generando-ahorros-permanentes-con-soluciones-de-eficiencia-energetica-activa.html>

Mayor Duque, A. M. (2014). *Método de medición de la eficiencia en un motor de inducción alimentado por variador de velocidad*. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/49335/>

Ministerio de Energía y Minas. (2008). Guía N° 09 : Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético - MINERIA METALICA. Retrieved from [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con\\_uibd.nsf/64308FC8AA7859FA052574F800700A7C/\\$FILE/Guia09.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con_uibd.nsf/64308FC8AA7859FA052574F800700A7C/$FILE/Guia09.pdf)

Ministerio de Energía y Minas. (2009). Decreto Supremo N° 022-2009-EM: Reglamento de Usuarios Libres de Electricidad. *Diario Oficial El Peruano*. Retrieved from <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-022-2009-EM.pdf>

MOTORTICO. (2014). CATTEL McKeen James ( 1860-1944). Retrieved from <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2014 MAY - Factor de Potencia.pdf>

M, Salvador (2013) *Diseño de instalaciones eléctricas*

OSINERGMIN. (2011). La medicion electronica de la energia. Retrieved from [http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/Foro\\_Electricidad\\_Ica\\_2011/Medicion\\_Electronica\\_Energia-Bravo.pdf](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/Foro_Electricidad_Ica_2011/Medicion_Electronica_Energia-Bravo.pdf)

OSINERGMIN. (2013). *Norma: Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicacion de las Tarifas a Usuario Final*. Retrieved from <http://www.osinergmin.gob.pe/Resoluciones/pdf/2005/OSINERG No.236-2005-OS-CD-Norma.pdf>

Poveda, M. (2007). Eficiencia Energética: Recurso No Aprovechado. *Olade*. Retrieved from <http://www.olade.org/sites/default/files/portal-ee/EFICIENCIA ENERGETICA RECURSO NO APROVECHADO-Agosto-2007.pdf>

RITZ. (2011). Transformadores de medida. Retrieved from [http://ritz-international.com/wp-content/uploads/2015/12/RITZ-Transformadores\\_de\\_medida\\_tension\\_standard\\_ESP\\_2014\\_01.pdf](http://ritz-international.com/wp-content/uploads/2015/12/RITZ-Transformadores_de_medida_tension_standard_ESP_2014_01.pdf)

Saadat, H., “Power Systems Analysis” Nueva York, McGraw Hill, 2002

Sevillano. (2011). Variadores de frecuencia. In *Sistemas de Regulacion y Control Automaticos* (pp. 143–152). Retrieved from [http://s8e034de22b40c2e9.jimcontent.com/download/version/1390409720/module/5858319664/name/Variadores\\_de\\_frecuencia\\_TIDA\\_13-14.pdf](http://s8e034de22b40c2e9.jimcontent.com/download/version/1390409720/module/5858319664/name/Variadores_de_frecuencia_TIDA_13-14.pdf)

UCO. (2012). Dedida de Potencia en corriente alterna. Retrieved from <http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/practicasyelectrotecnia/etprat-5.pdf>

UNAM. (2010). Equipos de medición. In *Unam* (pp. 1–22). Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/655/A7.pdf>

f?sequence=7

Velasquez, I. (2010). Frecuencímetro Digital. Retrieved from  
[http://www.velasquez.com.co/acrobat/Frecuencimetro Digital.pdf](http://www.velasquez.com.co/acrobat/Frecuencimetro%20Digital.pdf)

Zaiger. (2011). Varímetros - Potencia Reactiva. Retrieved from  
<http://www.celsaspain.com/fileadmin/dateien/zaiger/Analogicos/AC/DAQ.pdf>

## ANEXOS

Fichas técnicas de los relés multilins utilizados para la extracción de parámetros eléctricos.

**Anexo A: Multilin 750**

**Anexo B: Multilin 369**



GE  
Grid Solutions

# Multilin 750/760



## Feeder protection system

The 750/760 Feeder Protection System is a digital relay intended for the management and primary protection and control of distribution feeders. This easy to use relay provides comprehensive protection functions for feeders and back up protection for bus, transformers and transmission lines in a draw out construction and at a reduced product life cycle cost.

### Key Benefits

- Easy to use Feeder Protection System supported by industry leading suite of software tools
- Accurate built-in metering functions - Eliminates auxiliary metering devices and reduces cost
- Improve uptime of auxiliary equipment - I/O monitoring
- Reduce troubleshooting time and maintenance costs - IRIG-B time synchronization, event reports, waveform capture, data logger
- Minimize replacement time - Draw-out construction
- Simplify testing - Built in simulation features
- Cost effective access to information. Supports industry protocols such as DNP & Modbus. Includes an optional 10MB Ethernet port for system integration
- Complete asset monitoring - Analog I/O, Full metering including demand & energy
- Leading edge technology - Flash memory for product field upgrade
- Extended life - Optional conformal coating for chemically corrosive and humid environments
- Globally accepted ensuring adherence to international codes and standards

### Applications

- Primary protection and control for distribution feeders on solidly grounded, high impedance grounded or resonant (Peterson Coil) grounded systems
- Bus blocking/Interlocking schemes
- High-speed fault detection for arc flash mitigation
- Throw over schemes (bus transfer scheme applications)
- Load shedding schemes based on voltage and frequency elements
- Back-up protection for transmission lines, feeders and transformers
- Distributed Generation (DG) interconnect protection



imagination at work

## Protection and Control

- Directional time, instantaneous phase & ground overcurrent protection
- Directional sensitive ground and Restricted Earth Fault protection
- Reverse power protection
- Synchro Check - V, f, Hz, & dead-source
- Automatic bus transfer or manual control
- 4 shot recloser (760 only)

## Communications

- Networking interfaces - 10Mbps Ethernet, RS232, RS485 and RS422 parts
- Ethernet port, 10Mbps
- Multiple protocols - ModBus™ RTU, TCP/IP, DNP 3.0 Level 2

## Monitoring & Metering

- Metering - current, voltage, sequence components, power, energy, voltage
- Breaker operation & trip failure
- Total breaker arcing current
- Ambient temperature /analog transducer input
- Oscillography & Data Logger - 10 records up to 32 power cycles
- Simulation mode and playback capability

## EnerVista Software

- State of the art software for configuration and commissioning Multilin products
- Document and software archiving toolset to ensure reference material and device utilities are up-to-date
- EnerVista™ integrator providing easy integration of data in the 750/760 into new or existing monitoring and control systems

## Protection and Control

The 750/760 Feeder Protection System is a digital relay intended for the management and primary protection and control of distribution feeders. This easy to use relay provides comprehensive protection functions for feeders and back up protection for bus, transformers and transmission lines at a reduced product life cycle cost.

### Time & Instantaneous Overcurrent

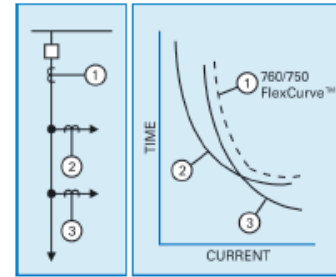
The 750/760 has two phase TOC elements with level detectors for each phase. The 750/760 also has two overcurrent elements most commonly used for primary and back up protection. Each TOC element has the following programmable characteristics:

- Pickup current level for trip, alarm, or control
- Choice of 15 curve shapes (including FlexCurves) and curve multipliers
- Instantaneous or linear reset time characteristic
- Voltage restraint

ANSI	Extremely Inverse Very Inverse Normally Inverse Moderately Inverse Definite Time
IEC	Curve A (BS142) Curve B (BS142) Curve C (BS142)
IAC	Short Inverse Extreme Inverse Very Inverse Inverse Short Inverse
Custom	FlexCurve™ A FlexCurve™ B

Standard and Flex Curves

The 750/760 has two phase IOC elements with level detectors for each phase. Each IOC element has a programmable pickup current, a time delay during which current must exceed the pickup for operation, and the minimum number of phases required for operation.



Typical application of FlexCurves™

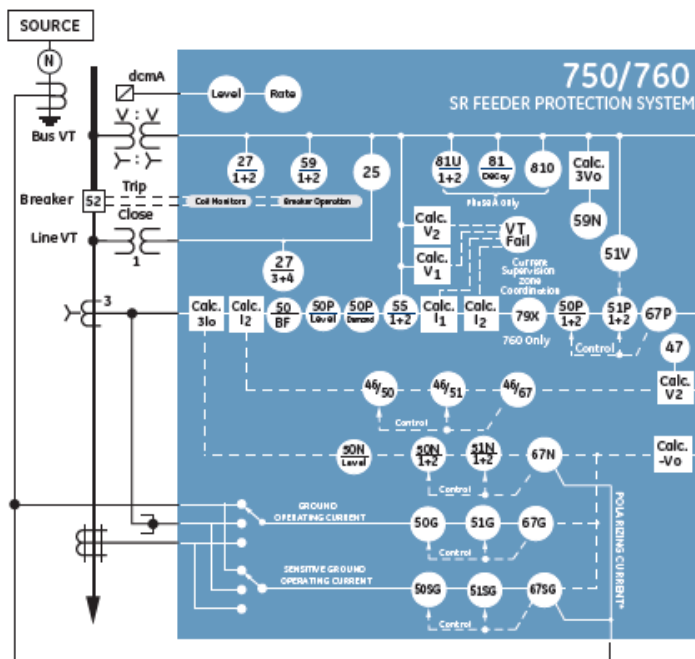
### Ground overcurrent protection

Solidly grounded and low impedance grounded distribution systems requiring fast clearing of ground faults to limit equipment damage. The following functions are incorporated in the 750/760 to provide ground fault protection

- Neutral IOC and TOC
- Ground IOC and TOC

750/760 allows directional elements to be used to supervise the ground overcurrent protection

### Functional Block Diagram



### ANSI Device Numbers & Functions

Device Number	Function
25	Synchronism Check
27	Bus/Line Undervoltage
32	Reverse Power
48/50	Negative Sequence Instantaneous Overcurrent
48/51	Negative Sequence Timed Overcurrent
48/67	Negative Sequence Directional Overcurrent
50	Breaker Failure
50N	Neutral Instantaneous Overcurrent
50P	Phase Instantaneous Overcurrent
50G	Ground Instantaneous Overcurrent
50SG	Sensitive Ground Instantaneous Overcurrent
51N	Neutral Time Overcurrent
51P	Phase Time Overcurrent
51G	Ground Time Overcurrent
51SG	Sensitive Ground Time Overcurrent
55	Power Factor
59	Overtvoltage
59N	Neutral Overtvoltage
59P	Phase Overtvoltage
67N	Neutral Directional Overcurrent
67P	Phase Directional Overcurrent
67G	Ground Directional Overcurrent
67SG	Sensitive Ground Directional Overcurrent
81U/O	Under/Over Frequency
81	Frequency Decay

elements. This means the 750/760 can be used to provide sensitive tripping for faults in one direction. Typical applications for directional overcurrent include:

- Isolation of the faulted feeder in ring bus or parallel feeder arrangements.
- Prevention of back-feeding utility source fault from industrial plant generators
- Sensitive hi-speed ground protection of transformers

Sensitive ground and Restricted Earth Fault (REF) protection

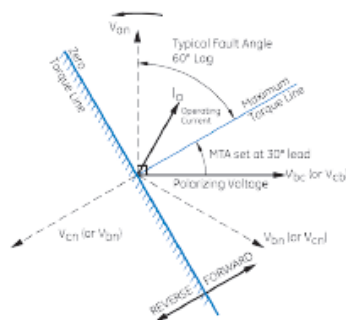
Sensitive ground and RGF protection features provide sensitive detection of ground faults. Sensitive ground fault protection includes:

- Instantaneous (50N) & Tim (51N) - 2 levels
- Directional supervision allows to discriminate between forward and reverse faults.
- Dual polarization (current & voltage) provides max security and reliability

750/ 760 employed to provide transformer back up protection (grounded wye windings and autotransformers) using the RGF feature.

### Voltage Protection

Overvoltage/Undervoltage protection features can cause a trip or generate an alarm when the voltage exceeds a specified voltage setting for a specified time. Voltage protection includes a negative sequence voltage element to detect abnormal system unbalance conditions, and a neutral displacement voltage element using the calculated zero sequence voltage (3V0) to detect ground faults.



Phase directional (for phase A).

### Protection/Control

	FEEDER Capacitor	Radial	Two-ended	BUS Backup	Transfer	TRANSFORMER Backup	LINE Backup
Bus/Line Undervoltage	•	•	•	•	•		•
Negative Sequence Voltage	•	•	•	•	•		•
Phase/Neutral/Gnd/Neg Seq/Sens Gnd IOC	•	•	•			•	•
Phase/Neutral/Gnd/Neg Seq/Sens Gnd TOC	•	•	•	•	•	•	•
Bus Overvoltage/Neutral Displacement	•	•	•	•	•	•	•
Phase/Neutral/Neg Seq/Sens Gnd/Gnd Directional Control			•	•	•	•	•
Bus Underfrequency/Rate of Change				•	•		
Undervoltage Automatic Restoration	•	•	•	•	•	•	
Underfrequency Automatic Restoration	•	•	•	•	•	•	
Breaker Failure with Current Superv.	•	•	•	•	•	•	•
Bus Transfer					•		
Programmable Logic Inputs	•	•	•	•	•	•	•
Multiple Setpoint Groups	•	•	•	•	•	•	•

### Monitoring/Control

Synchronism Check				•			•
Phase/Neutral Current Level	•	•	•	•	•	•	•
Power Factor	•	•	•				
Autoclose (760 only)			•				•
Overfrequency							•
Breaker Open/Close	•	•	•	•	•	•	•
Manual Close Feature Blocking	•	•	•		•		
Cold Load Pickup Feature Blocking			•	•	•		
Breaker Operation Failure	•	•	•	•	•	•	•
Trip/Close Circuit Failure	•	•	•	•	•	•	•
Total Breaker Arcing Current	•	•	•	•	•	•	•
VT Failure	•	•	•				•
Demand (A, MW, Mvar, MVAI)	•	•	•	•	•	•	•
Analog Input	•	•	•	•	•	•	•
Event Recording	•	•	•	•	•	•	•
Analog Output	•	•	•				•
Fault Locator	•	•	•				•
Trip Counter	•	•	•	•	•	•	•

### Frequency Protection

750/760 provides functionality to improve network (grid) stability using voltage or frequency based techniques. Also allows to provide back up protection and trip breakers directly when protecting generators and other frequency sensitive power equipment.

- 2 Under-frequency elements (81U)
- 2 Over-frequency elements (81O)
- Frequency decay: 4 df/dt elements (59/81)
- 2 Undervoltage elements

### Reverse power detection

750/760 relay allows to trip or alarm when power flows against the intended direction. In systems having in-plant generation parallel to the utility supply, detection of power flow toward the utility is necessary. For such applications, 750/760 eliminates requirement for separate device to detect power flow direction and reduces overall cost. This feature can also be used to detect motoring power into the generator.

### Synchronism Check

Breaker closing can be supervised by  $\Delta V$ ,

$\Delta f$  and  $\Delta Hz$  setpoints. Dead-source alternatives are provided.

### Cold Load Pickup Control

This function allows automatic or manual blocking or raising of trip settings for a period after the breaker is closed. Built-in scheme available to perform main-tie-main transfer using a set of three relays, two an incoming and one on a normally open bus tie breaker. This scheme uses "open before close" sequence for safe operation.

### Manual Close Control

After the breaker is closed manually, the relay can block any IOC element or raise the pickup value of any TOC element, each for a programmable time delay, after which normal operation is restored.

### Bus Transfer Scheme

A set of three relays, two an incoming and one on a normally open bus tie breaker can perform transfer on loss-of-source.

### Recloser (760 Only)

Autoreclosing can be initiated externally or from an overcurrent protection. Up to four reclose operations are possible, each with a programmable dead time. For each reclose shot, the relay can be programmed to block any IOC element, and to adjust the curve characteristics of any TOC element. The number of shots can be reduced by high currents.

### Equipment Management

The following comprehensive features in the relay allows to manage the primary breaker:

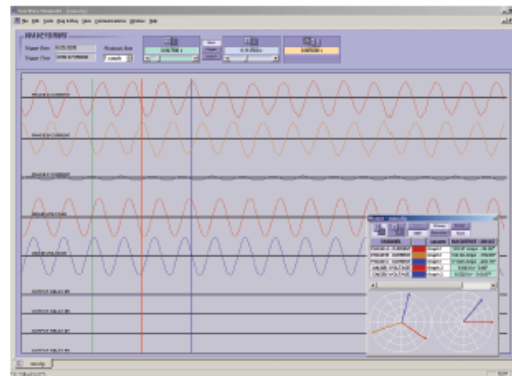
- Trip counter to keep track of number of operations
- Per-phase breaker contact wear calculations for maintenance
- Breaker failure detection
- Trip coil monitoring

### Monitoring and Metering

The 750/760 features advanced monitoring and metering functions which include:

#### Fault Locator

The relay uses captured data to calculate the type, distance to and the impedance of the fault. Records of the last 10 faults are stored.



The 750/760 saves up to 256 power frequency cycles of waveform data

### Breaker Conditions

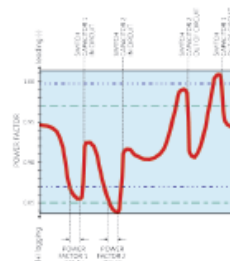
The relay calculates the per-phase wear on the breaker contacts to establish a threshold. When the breaker maintenance threshold is exceeded the relay can trigger an alarm. An alarm is also generated if the relay detects that the supervisory trickle current is not present. A failure to respond to an open or close signal in a programmed time can be used to generate an alarm.

### VT Failure

The VT failure feature monitors each phase of input voltage, generating an alarm and sending the programmed output signals when a failure is detected.

### Power Factor

Two independent elements monitor power factor, each with programmable pickup, dropout and time delay.



By monitoring the power factor the 750/760 can help minimize both costs and voltage excursions.

### Analog Input

Any external quantity may be monitored via an auxiliary current input. Two analog input level monitoring elements and two rate-of-change elements are available. When the measured quantity exceeds the pickup level, the relay can trigger an alarm or signal an output.

### Event Recording

The relay captures and stores the last 256 events, recording the time, date, cause, and system parameters. Events may be recorded selectively by category, so that only events of interest are recorded.

### Oscillography

A block of configurable volatile memory can be used for recording samples of the AC input voltages and current, and the status of logic inputs and output relays. This memory can be configured between the ranges of two to 16 blocks with 16 to 256 power frequency cycles of data respectively. The amount of pre-event data recorded is set by the user. Trace memory recording can be triggered by operation of selected features or logic inputs.

### Trip Counter

The number of breaker trip operations is recorded, and can be displayed for statistical purposes (useful for units without operation counters).

## Metering

The 750/760 performs accurate measurement of the following:

- Actual V, A, Hz, W, Wh, var, varh, VA-PF
- Watthour cost
- Phasor presentation of V and I
- Symmetrical components of V and I
- Line (synchronous) voltage: RMS voltage, frequency, and differentials
- Percent of load-to-trip
- Analog input
- Running and maximum demand: A, MW, MVAR, MVA

Setpoints allow the user to simulate three common electrical utility demand measuring techniques.

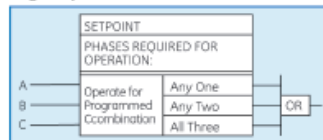
## Data Logging

A configurable memory block can record eight channels of any measured or calculated parameter. In continuous mode, this feature can be programmed to capture from 136 seconds of data per cycle to 48 weeks of data per hour.

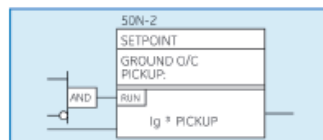
## Simulation

The relay provides a powerful simulation feature for testing the functionality of the relay in response to programmed conditions. System parameters are entered as setpoints. Pre-fault, fault, and post-fault conditions can be simulated to exercise relay features.

## Logic Inputs



Setpoints block diagram.



Level detectors block diagram.

The relay has 14 contact and 20 serial inputs which can be programmed to perform any of 60 predefined functions, including remote tripping, resetting, feature blocking, and more.

## Inputs and Outputs

The 750/760 features user-configurable inputs and outputs:

### Outputs

The 750/760 has eight electromechanical relay outputs.

- Two are factory programmed for breaker control
- Five can be configured to operate as either failsafe or non-failsafe, and either latching, self-resetting, or pulsed; these relays can be programmed to be operated by any feature
- One of the relays is factory programmed as a fail safe internal failure alarm relay

The 750/760 has one high-speed SCR solid state output.

The 750/760 has eight analog output channels. Any of 31 measured parameters can be selected to drive these outputs.

### IRIG-B Input

An IRIG-B input allows time synchronization using a satellite signal.

## Communications

The 750/760 is equipped with three standard serial communications ports, one RS232 located in the front panel, and two RS485/RS422 in the rear of the relay. A rear Ethernet port is also available as an optional feature. The front panel port allows easy local computer access. The rear ports provide remote communications or connection to a DCS, SCADA, or PLC. The baud rate of all the serial ports is variable from 300 to 19,200 bps. The optional Ethernet port can be used to connect the 750/760 to 10 Mbps Ethernet networks. The 750/760 supports ModBus® RTU, DNP3.0 Level 2, and ModBus RTU TCP/IP protocols.

The three serial ports support ModBus RTU protocol, while any one of the two rear ports but not both can be configured to support DNP 3.0 Level 2. The optional Ethernet port supports ModBus RTU via TCP/IP protocol. The communication system of the 750/760 is designed to allow simultaneous communication via all ports.

Using Ethernet as the physical media to integrate the 750/760 to Local or Wide Area Networks, replaces a multidrop-wired network (e.g., serial Modbus®), and eliminates expensive leased or dial-up connections, reducing monthly operating costs.

## Access Security

The 750/760 can be protected against unauthorized setpoint changes. A key switch may be installed on the rear terminals to allow setpoint changes from the front panel. An optional passcode restricts setpoint changes from both the front panel and ports.

## EnerVista Software

The EnerVista™ Suite is an industry-leading set of software programs that simplifies every aspect of using the 750/760 relay. The EnerVista™ suite provides all the tools to monitor the status of your protected asset, maintain the relay, and integrate information measured by the 750 into DCS or SCADA monitoring systems. Convenient COMTRADE and Sequence of Events viewers are an integral part of the 750 Setup software included with every 750 relay, to carry out postmortem event analysis to ensure proper protection system operation.

## EnerVista Launchpad

EnerVista™ Launchpad is a powerful software package that provides users with all of the setup and support tools needed for configuring and maintaining Multilin products. The setup software within Launchpad allows configuring devices in real-time by using serial, Ethernet, or modem connections, or offline by creating setting files to be sent to devices at a later time.

Included in Launchpad is a document archiving and management system that ensures critical documentation is up-to-date and available when needed. Documents made available include:

- Manuals
- Application Notes
- Guideform Specifications
- Brochures
- Wiring Diagrams
- FAQ's
- Service Bulletins



**Viewpoint Monitoring**

Viewpoint Monitoring is a simple-to-use and full-featured monitoring and data recording software package for small systems. Viewpoint Monitoring provides a complete HMI package with the following functionality:

- Plug-&-Play Device Monitoring
- System Single-Line Monitoring & Control
- Annunciator Alarm Screens
- Trending Reports
- Automatic Event Retrieval
- Automatic Waveform Retrieval

**Retrofit Existing Multilin SR 750 Devices in Minutes**

Traditionally, retrofitting or upgrading an existing relay has been a challenging and time consuming task often requiring re-engineering, panel modifications, and re-wiring. The Multilin 8 Series Retrofit Kit provides a quick, 3-step solution to upgrade previously installed Multilin SR 750/760 protection relays, reducing upgrade costs.

With the new 8 Series Retrofit Kit, users are able to install a new 850 Feeder Management System without modifying existing panel or switchgear cutouts, re-wiring, or need for drawing changes and re-engineering time and cost.

With this three-step process, operators are able to upgrade existing SR relays in as fast as 21 minutes, simplifying maintenance procedures and reducing system downtime.

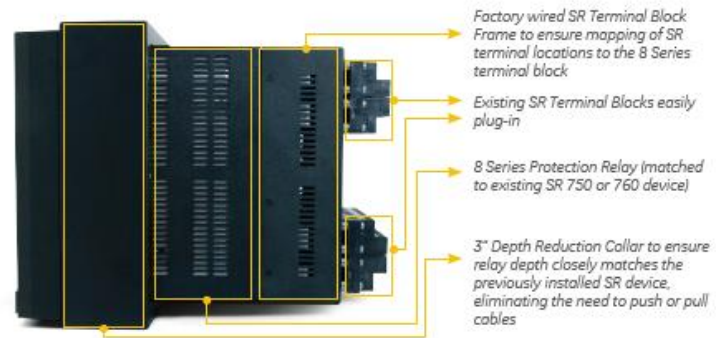


EnerVista 8 Series Setup Software provides automated setting file conversion with graphical report to quickly and easily verify settings and identify any specific settings that may need attention.

Simply remove the 4 existing terminal blocks and then remove the SR chassis from the panel. No need to disconnect any of the field wiring.

Insert the new 8 Series Retrofit chassis into the switchgear and simply plug-in the old terminal blocks - there is need to make any cut-out modifications or push and pull cables.

The 8 Series Retrofit Kit comes factory assembled and tested as a complete unit with the 8 Series protection device and includes replacement hardware (terminal blocks and screws) if the existing hardware is significantly aged or damaged.



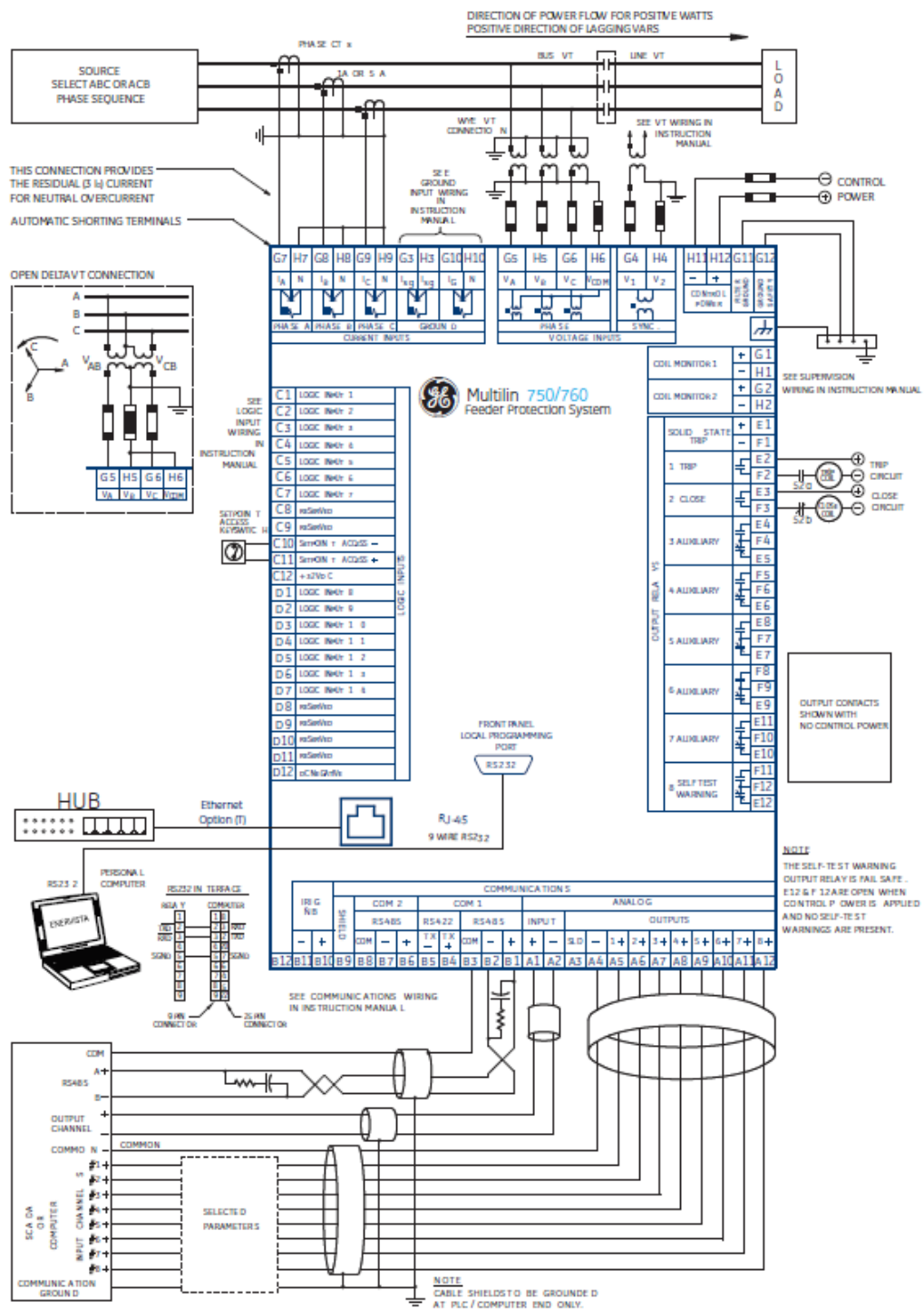
**Explore in Detail**

visit us online to explore the SR to 8 Series retrofit kit in detail using our interactive app. [www.GEGridSolutions.com/BSeriesRetrofitKit](http://www.GEGridSolutions.com/BSeriesRetrofitKit)



Multilin 8 Series Retrofit

Typical Wiring



Technical Specifications

PROTECTION	
<b>PHASE/NEUTRAL/GROUND/NEGATIVE SEQUENCE TIME OVERCURRENT PROTECTION</b>	
Pickup level:	0.05 to 20.00 in steps of 0.01 x CT
Dropout level:	97 to 98% of Pickup
Curve shape:	ANSI extremely/very/moderately/ normally inverse Definite time (0.1 s base curve) IEC curve A/B/C and short FlexCurve™ A/B (programmable curve)
Curve multiplier:	0.00 to 100.00 in steps of 0.01
Reset type:	Instantaneous/linear
Level accuracy:	Per current input I <sub>1</sub> is 3 x input error
Timing accuracy:	±1.03 x PU ±3% of trip time or ±40 ms (whichever is greater)
<b>SENSITIVE GROUND TIME OVERCURRENT PROTECTION</b>	
Pickup level:	0.005 to 1.000 in steps of 0.001 x CT
Dropout level:	97 to 98% of pickup
Curve shape:	ANSI extremely/very/moderately/ normally inverse Definite time (0.1 s base curve) IEC Curve A/B/C and short FlexCurve™ A/B (programmable curve) IAC extreme/very/ inverse/short
Curve multiplier:	0.00 to 100.00 in steps of 0.01
Reset type:	Instantaneous/linear
Level accuracy:	Per current input I <sub>1</sub> is 3 x input error
Timing accuracy:	±1.03 x PU ±3% of trip time or ±40 ms (whichever is greater)
<b>PHASE/NEUTRAL/GROUND/NEGATIVE SEQUENCE INSTANTANEOUS OVERCURRENT PROTECTION</b>	
Pickup level:	0.05 to 20.00 in steps of 0.01 x CT
Dropout level:	97 to 98% of pickup
Time delay:	0.00 to 600.00 in steps of 0.01 s
Level accuracy:	Per phase/neutral/ground current input I <sub>1</sub> is 3 x phase input error
Timing accuracy:	At 0 ms time delay (no intentional delay): Relay contacts = 50 ms max solid state output = 45 ms max At non-zero time delay: Delay accuracy = 0 to +20 ms
Phases:	Any one/any two/all three (programmable) phases have to operate for output (not for I)
<b>PHASE DIRECTIONAL</b>	
Relay Connection:	90° (quadrature)
Polarizing Voltage:	V <sub>bc</sub> (phase A), V <sub>ca</sub> (phase B), V <sub>ab</sub> (phase C)
MTA:	0 to 359° in steps of 1
Angle Accuracy:	±2°
Operation Delay:	25 to 40 ms
<b>NEUTRAL DIRECTIONAL</b>	
NOTE:	Polarized by voltage, current, or both voltage and current. For voltage element polarizing, the source VTs must be connected in Wye.
Polarizing voltage:	V <sub>0</sub>
Polarizing current:	I <sub>0</sub>
MTA:	0 to 359° in steps of 1
Angle accuracy:	±2°
Operation delay:	25 to 40 ms
<b>GROUND / SENSITIVE GROUND DIRECTIONAL</b>	
NOTE:	Polarized by voltage, current, or both voltage and current. For voltage element polarizing, the source VTs must be connected in Wye.
Polarizing voltage:	V <sub>0</sub>
Polarizing current:	I <sub>0</sub>
MTA:	0 to 359° in steps of 1
Angle accuracy:	±2°
Operation delay:	25 to 40 ms
<b>BUS UNDERVOLTAGE 1/2 AND LINE UNDERVOLTAGE 3/4</b>	
Minimum voltage:	programmable threshold from 0.00 to 1.25 x VT in steps of 0.01
Pickup level:	0.00 to 1.25 in steps of 0.01 x VT
Dropout level:	100 to 103% of pickup
Curve:	Definite time or inverse time
Time delay:	0.0 to 6000.0 in steps of 0.1 s
Phases:	Any one/any two/all three (programmable) to operate for output (bus undervoltage only)
Level accuracy:	Per voltage input
Timing accuracy:	±100 ms
<b>OVERVOLTAGE 1/2</b>	
Pickup level:	0.00 to 1.25 in steps of 0.01 x VT
Dropout level:	97 to 98% of pickup
Time delay:	0.0 to 6000.0 in steps of 0.1 s (definite time)
Phases:	Any one/any two/all three (programmable) phases have to operate for output
Level accuracy:	Per voltage input
Timing accuracy:	±100 ms

PROTECTION	
<b>NEGATIVE SEQUENCE VOLTAGE</b>	
Pickup level:	0.00 to 1.25 in steps of 0.01 x VT
Dropout level:	97 to 98% of pickup
Time delay:	0.0 to 6000.0 in steps of 0.1 (definite or inverse time)
Level accuracy:	3 x voltage input error
Timing accuracy:	±100 ms
<b>UNDERFREQUENCY 1/2</b>	
Minimum voltage:	0.00 to 1.25 in steps of 0.01 x VT in phase A
Pickup level:	20.00 to 65.00 in steps of 0.01 Hz
Dropout level:	Pickup + 0.03 Hz
Time delay:	0.00 to 6000.0 in steps of 0.01 s (definite time)
Level accuracy:	±0.02 Hz
Timing accuracy:	At 60 Hz: ±25 ms At 50 Hz: ±30 ms
<b>NEUTRAL DISPLACEMENT</b>	
Pickup level:	0.00 to 1.25 x VT in steps of 0.01
Dropout level:	97 to 98% of pickup
Curves:	ANSI Extremely/Very/Moderately/ Normally Inverse, Definite Time (0.1 s base curve), IEC Curve A/B/C and Short, FlexCurve™ A/B (programmable curve), IAC Extreme/ Very/ Inverse/Short
Curve multiplier:	0 to 100.00 in steps of 0.01
Reset type:	Instantaneous/Linear
Level accuracy:	3 x voltage input error
Timing accuracy:	±20 ms
<b>REVERSE POWER (IF ENABLED)</b>	
Pickup level:	0.015 to 0.600 x rated power
Dropout level:	94 to 95% of pickup
Reset time:	less than 100 ms
Level accuracy:	see 3-4 Real Power metering
Time delay:	0.0 to 6000.0 s in steps of 0.1
Timing accuracy:	±200 ms (includes Reverse Power pickup time)
<b>BREAKER FAILURE</b>	
Pickup level:	0.05 to 20.0 x CT in steps of 0.01
Dropout level:	97 to 98% of pickup
Time delay:	0.03 to 1.00 s in steps of 10
Timing accuracy:	±20 ms error
Level accuracy:	per CT input
METERING	
<b>CURRENT</b>	
Phases:	Phase A RMS current Phase B RMS current Phase C RMS current
% of load-to-trip accuracy:	±0.5% of fullscale
<b>VOLTAGE</b>	
Phases:	Phase A-N (A-B) voltage Phase B-N (B-C) voltage Phase C-N (C-A) voltage
Accuracy:	±0.25% of full scale
<b>FREQUENCY</b>	
Measured:	A-N (A-B) bus and line voltage
Range:	16 to 65 Hz
Accuracy:	±0.02 Hz
<b>SYMMETRICAL COMPONENTS</b>	
Current level accuracy:	±1.5% of full scale
Voltage level accuracy:	±0.75% of full scale
Current and voltage angle accuracy:	±2°
<b>3-4 POWER FACTOR</b>	
Range:	0.00 Lag to 1.00 to 0.00 Lead
Accuracy:	±0.02
<b>3-4 REAL POWER</b>	
Range:	-3000.0 to 3000.0 MW
Accuracy:	±1% of full scale
<b>3-4 REACTIVE POWER</b>	
Range:	-3000.0 to 3000.0 Mvar
Accuracy:	±1% of full scale
<b>3-4 APPARENT POWER</b>	
Range:	-3000.0 to 3000.0 MVA
Accuracy:	±1% of full scale
<b>WATT-HOURS</b>	
Range:	-2.1 x 10 <sup>8</sup> to 2.1 x 10 <sup>8</sup> MWh
Accuracy:	±2% of full scale per hour
<b>VAR-HOURS</b>	
Range:	-2.1 x 10 <sup>8</sup> to 2.1 x 10 <sup>8</sup> Mvarh
Accuracy:	±2% of full scale per hour
<b>DEMAND RANGE</b>	
Phase A/B/C current:	0 to 65535 A
3-4 real power:	-3000.0 to 3000.0 MW
3-4 reactive power:	-3000.0 to 3000.0 Mvar
3-4 apparent power:	-3000.0 to 3000.0 MVA
<b>DEMAND MEASUREMENT</b>	
Thermal exponential, 90% response time (programmed):	5, 10, 15, 20, 30, or 60 min.
Block interval / rolling demand, time interval (programmed):	5, 10, 15, 20, 30, or 60 min.
Accuracy:	±2% of full scale

MONITORING	
<b>PHASE/NEUTRAL CURRENT</b>	
Pickup level:	0.05 to 20.00 x CT in steps of 0.01
Dropout level:	97 to 98% of pickup
Time delay:	0 to 6000.0 s in steps of 1 (Definite Time)
Level accuracy:	per current input
Timing Accuracy:	±100 ms
<b>POWER FACTOR</b>	
Required voltage:	>30% of nominal in all phases
Pickup level:	0.50 lag to 0.50 lead in steps of 0.01
Dropout level:	0.50 lag to 0.50 lead in steps of 0.01
Time delay:	0 to 6000.0 s in steps of 1 (Definite Time)
Level accuracy:	±0.02
Timing Accuracy:	±100 ms
<b>ANALOG IN THRESHOLD</b>	
Pickup level:	0 to 65535 units in steps of 1
Dropout level:	2 to 20% of Pickup (programmable, under/over)
Time delay:	0 to 6000.0 s in steps of 1
Level accuracy:	±1%
Timing Accuracy:	±100 ms
<b>ANALOG IN RATE</b>	
Pickup level:	-1000 to 1000 mA/hour in steps of 0.1
Dropout level:	97 to 98% of Pickup
Time delay:	0 to 6000.0 s in steps of 1
Level accuracy:	±1%
Timing Accuracy:	±100 ms
<b>OVER-FREQUENCY</b>	
Required voltage:	>30% of nominal, phase A
Pickup level:	20.01 to 65.00 Hz in steps of 0.01
Dropout level:	Pickup - 0.03 Hz
Time delay:	0.0 to 6000.0 s in steps of 0.1
Level accuracy:	±0.02 Hz
Timing Accuracy:	±34 ms at 60 Hz; ±40 ms at 50 Hz
<b>DEMAND</b>	
Demand accuracies are based on less than 2 x CT and 80 to 130 V inputs.	
Measured values:	Phase A/B/C current (A) 3-4 real power (MW), 3-4 reactive power (Mvar), 3-4 apparent power (MVA)
Measurement type:	Thermal Exponential, 90% response time (programmed): 5, 10, 15, 20, 30, or 60 min.
Block Interval / Rolling Demand, time interval (programmed):	5, 10, 15, 20, 30, or 60 min.
Block Interval with Start Demand Interval	
Logic input pulses	
Amps pickup level:	10 to 10000 in steps of 1
MW p/k level:	0.1 to 3000.0 in steps of 0.1
Mvar p/k level:	0.1 to 3000.0 in steps of 0.1
MVA p/k level:	0.1 to 3000.0 in steps of 0.1
Level accuracy:	±2%
<b>VT FAILURE</b>	
Programmable to inhibit features:	
<b>TRIP / CLOSE COIL MONITORS</b>	
Detect open trip and close circuits.	
<b>PULSE OUTPUT</b>	
Pulse output is 1 second on time and one second off time after the programmed interval.	
<b>LAST TRIP DATA</b>	
Records cause of most recent trip, 4 RMS currents, and 3 RMS voltages with a 1 ms time stamp.	
<b>TRIP COUNTERS</b>	
Accumulates all ground, sensitive ground, neutral, negative sequence, and phase overcurrent trips.	
<b>EVENT RECORDER (256 EVENTS)</b>	
Records event cause, 3-phase current phasors, 1 ground current phasor, sensitive ground current phasors, 3 voltage phasors, system frequency, synchronizing voltage, synchronizing frequency, and analog input level with a 1 ms time stamp.	
<b>WAVEFORM CAPTURE</b>	
Data channels:	4 currents, 3 voltages, 14 logic input states and 8 output relays
Sample rate:	16 per cycle
Trigger source:	Element pickup/trip/dropout, control/alarm event, logic input or manual command
Trigger position:	0 to 100%
Storage capacity:	2 to 16 events with 4096 to 512 samples of data respectively
<b>DATA LOGGER</b>	
Data channels:	8 channels; same parameters as for analog outputs available
Sample rate:	Per Cycle / Per second / Per Minute / Every 5, 10, 15, 20, 30, or 60 min
Trigger source:	Pickup/trip/dropout, control/alarm event, logic input, manual command, or continuous
Trigger position:	0 to 100%
Storage capacity:	2 to 16 events with 2048 to 256 samples of data respectively (4096 if continuous)



## Technical Specifications (Cont'd)

INPUTS	
<b>PHASE CURRENT INPUT</b>	
Source CT:	1 to 50000 A primary / 1 or 5 A secondary
Relay Input:	1 A or 5 A (specified when ordering)
Burden:	Less than 0.2 VA at 1 or 5 A
Conversion range:	0.01 to 20 x CT (fundamental frequency only)
Accuracy:	at <math>2 \times CT</math>: $\pm 0.5\%$ of $2 \times CT$ at $\geq 2 \times CT$ : $\pm 1\%$ of $20 \times CT$
Overload withstand:	1 second @ 80 times rated current continuous @ 3 times rated current
Calculated neutral current errors: 3 x phase inputs	
<b>GROUND CURRENT INPUT</b>	
Source CT:	1 to 50000 A primary / 1 or 5 A secondary
Relay Input:	1 A or 5 A (specified when ordering)
Burden:	Less than 0.2 VA at 1 or 5 A
Conversion range:	0.01 to 20 x CT (fundamental frequency only)
Accuracy:	at <math>2 \times CT</math>: $\pm 0.5\%$ of $2 \times CT$ at $\geq 2 \times CT$ : $\pm 1\%$ of $20 \times CT$
Overload withstand:	1 second @ 80 times rated current continuous @ 3 times rated current
<b>SENSITIVE GROUND CURRENT INPUT</b>	
Source CT:	1 to 50000 A primary / 1 or 5 A secondary
Relay Input:	1 A or 5 A (specified when ordering)
Burden:	Less than 0.2 VA at 1 or 5 A
Conversion range:	0.005 to 1000 x CT (fundamental frequency only)
Accuracy:	at <math>0.1 \times CT</math>: $\pm 0.2\%$ of $1 \times CT$ at $\geq 0.1 \times CT$ : $\pm 1\%$ of $1 \times CT$
Overload withstand:	1 second @ 80 times rated current continuous @ 3 times rated current
<b>BUS AND LINE VOLTAGE INPUTS</b>	
Source VT:	0.12 to 600 kV / 50 to 240 V
Source VT ratio:	1 to 5000 in steps of 0.1
Relay Input:	50 V to 240 V phase-neutral
Burden:	Less than 0.025 VA at 120 V or >576 k
Max continuous:	273 V phase-neutral (full scale) CT (fundamental frequency only)
Accuracy ( $0^\circ - 40^\circ$ ):	$\pm 0.205\%$ of full scale (10 to 130 V) $\pm 0.8\%$ of full scale (130 to 273 V) (for open delta, the calculated phase has errors 2 times those shown above)
<b>LOGIC INPUTS</b>	
Inputs:	14 contact and / or virtual, 6 virtual only (functions assigned to logic inputs)
Dry contacts:	1000 maximum ON resistance (32 VDC @ 2 mA provided by relay)
Wet contacts:	30 to 300 VDC @ 2.0 mA (external DC voltage only)
<b>ANALOG INPUT</b>	
Current input:	0 - 1 mA, 0 - 5 mA, 0 - 10 mA, 0 - 20 mA, or 4 - 20 mA (programmable)
Input impedance:	375 $\pm 10\%$
Conversion range:	0 to 21 mA
Accuracy:	$\pm 1\%$ of full scale
<b>TRIP AND CLOSE COIL MONITORING INPUTS</b>	
Acceptable voltage range:	20 to 250 VDC
Trickle current:	2 mA to 5 mA
<b>IRIG-B INPUT</b>	
Amplitude-modulated:	2.5 to 6 Vp-p @ 3:1 signal ratio
DC shift:	TTL

CONTROL	
<b>UNDERVOLTAGE RESTORATION</b>	
Initiated by:	Trip from undervoltage 1, 2, 3 or 4
Minimum voltage level:	0.00 to 1.25 x VT in steps of 0.01
Time delay:	0.1 to 100.0 in steps of 0.1 s
Incomplete sequence time:	1 to 10000 in steps of 1 min.
Phases:	Any one/any two/all three (programmable) phases have to operate for output
Level accuracy:	Per voltage input
Timing accuracy:	$\pm 100$ ms
<b>UNDERFREQUENCY RESTORATION</b>	
Initiated by:	Trip from underfrequency 1 or 2
Minimum voltage level:	0.00 to 1.25 x VT in steps of 0.01
Minimum frequency level:	20.00 to 60.00 in steps of 0.01 Hz
Time delay:	0.1 to 100.0 in steps of 0.1 s
Incomplete sequence time:	1 to 10000 in steps of 1 min.
Level accuracy:	Per voltage and frequency input
Timing accuracy:	$\pm 100$ ms
*Specifications subject to change without notice.	
<b>OUTPUTS</b>	
<b>ANALOG OUTPUTS</b>	
Type:	Active
Outputs:	8 channels; specify one of the following output ranges when ordering:
Output range:	Maximum load
0 - 1 mA	12 k $\Omega$
0 - 5 mA	2.4 k $\Omega$
0 - 10 mA	1.2 k $\Omega$
4 - 20 mA	600 $\Omega$
Isolation:	Fully isolated
Accuracy:	$\pm 1\%$ of full scale
Response time:	100% indication in less than 3 power system cycles (50 ms @ 60 Hz)
<b>SOLID STATE TRIP</b>	
Make and carry:	15 A @ 250 VDC for 500 ms
Output relays:	1 TRIP: Form A
Configurations:	2 CLOSE: Form A
	3 - 7 AUXILIARY: Form C
	8 SELF-TEST WARNING: Form C
Contact material:	Silver alloy
<b>COMMUNICATIONS</b>	
Serial Ports:	300 - 19,200 baud, programmable parity, ModBus <sup>®</sup> RTU or DNP 3.0 protocol
Ethernet Port:	10BaseT, RJ45 Connector, ModBus <sup>®</sup> RTU over TCP/IP
<b>POWER SUPPLY</b>	
<b>CONTROL POWER</b>	
Options:	LO/HI (specified when ordering)
LO range:	DC = 20 to 60 V AC = 20 to 48 V @ 48 - 62 Hz
HI range:	DC = 88 to 300 V AC = 70 to 265 V @ 48 - 62 Hz
Power:	25 VA nominal, 35 VA maximum
Voltage loss hold-up time:	30 ms

ENVIRONMENTAL	
Operating temperature range:	-40 $^\circ$ C to +60 $^\circ$ C
Ambient storage temperature:	-40 $^\circ$ C to +85 $^\circ$ C
Ambient shipping temperature:	-40 $^\circ$ C to +85 $^\circ$ C
Humidity:	Operating up to 95% (non condensing) @ 55C 2 IP40 (front), IP20 (back)
Pollution degree:	2
IP rating:	IP40 (front), IP20 (back)
<b>APPROVALS TESTS</b>	
ULus:	UL508, UL1058, C22.2 No 14
CE:	EN60255-5, EN50263
<b>PRODUCTION TESTS</b>	
Thermal cycling:	Operational test at ambient, reducing to -40 $^\circ$ C and then increasing to 60 $^\circ$ C
Dielectric strength:	On CT inputs, VT inputs, control power inputs, switch inputs, coil supervision outputs, and relay outputs (2 kVAC for 1-minute) to safety ground.
<b>TYPE TESTS</b>	
Dielectric voltage withstand:	EN60255-5
Impulse voltage withstand:	EN60255-5
Insulation resistance:	EN60255-5
Damped Oscillatory:	IEC 61000-4-18 / IEC 60255-22-1
Electrostatic Discharge:	EN61000-4-2 / IEC 60255-22-2
RF Immunity:	EN61000-4-3 / IEC 60255-22-3
Fast Transient Disturbance:	EN61000-4-4 / IEC 60255-22-4
Surge Immunity:	EN61000-4-5 / IEC 60255-22-5
Conducted RF Immunity:	EN61000-4-6 / IEC 60255-22-6
Radiated & Conducted Emissions:	CISPR11 / CISPR22 / IEC 60255-25
Sinusoidal Vibration:	IEC 60255-21-1
Shock & Bump:	IEC 60255-21-2
Seismic:	IEC 60255-21-3
Power magnetic Immunity:	IEC 61000-4-8
Pulse Magnetic Immunity:	IEC 61000-4-9
Voltage Dip & Interruption:	IEC 61000-4-11
Ingress Protection:	IEC 60529
Environmental (Cold):	IEC 60068-2-1
Environmental (Dry heat):	IEC 60068-2-2
Relative Humidity Cyclic:	IEC 60068-2-30
EFT:	IEEE / ANSI C37.90.1
Damped Oscillatory RF Immunity:	IEEE / ANSI C37.90.1
ESD:	IEEE/ANSI C37.90.3
Safety:	UL508 / UL C22.2-14 / UL1053

## Ordering

750/760	*	*	*	*	*	*	*	*	Description
Phase Current Inputs	P1								1 A phase current inputs
	PS								5 A phase current inputs
Ground Current Inputs		G1							1 A zero sequence current inputs
		GS							5 A zero sequence current inputs
Sensitive Ground Current Inputs			S1						1 A sensitive ground current input
			SS						5 A sensitive ground current input
Power Supply Options				LO					20 - 60 VDC, 20 - 48 VAC @ 48 - 62 Hz
				HI					88 - 300 VDC, 70 - 265 VAC @ 48 - 62 Hz
Analog Outputs					A1				Eight 0 - 1 mA analog outputs
					A5				Eight 0 - 5 mA analog outputs
					A10				Eight 0 - 10 mA analog outputs
					A20				Eight 4 - 20 mA analog outputs
Breaker Status LED						R			Red breaker closed LED
						G			Green breaker closed LED
Enhancements							E		enhanced display, larger LCD, improved keypad
							T		enhanced display with Ethernet, 10BaseT option
Environmental Protection								H	Harsh Chemical Environment Option



## MOTOR PROTECTION SYSTEM

Integrated protection and control for medium sized AC motors

### KEY BENEFITS

- Enhanced Thermal Model including RTD and Current Unbalance Biasing
- Complete Asset monitoring with programmable RTD inputs for Stator, Bearing and Ambient temperature protection
- Enhanced reporting - Motor Health Reports provide critical information for preventative maintenance
- Reduce troubleshooting time and maintenance costs - Event reports, waveform capture, motor start data logger
- Multiple communication protocols - Modbus RTU, Profibus, DeviceNet, Modbus TCP/IP
- Simplified programming with the EnerVista™ 369 Motor Settings Auto-Configurator
- Optional Conformal coating for exposure to chemically corrosive or humid environments (option)
- Field upgradable settings and firmware
- Suitable for hazardous locations - UL certification for Class 1 Division 2 applications (option MOD502)
- Installation flexibility - Remote display and remote RTD options
- Safe and reliable motor re-start on "Down Hole" pump applications - Unique back spin detection feature detects flow reversal on a pump motor, enabling timely and safe motor restarting
- User definable parameters and data size for DeviceNet polling
- User definable parameters and data size for Profibus DPV1 cyclic data
- Motor learned data on historical start characteristics

### APPLICATIONS

- Protection and control for medium sized AC motors
- "Down Hole" pump applications
- Suitable for applications involving Variable Frequency Drives
- Two Speed motor application

### FEATURES

#### Protection and Control

- Enhanced thermal model
- Stall / Jam protection
- Undervoltage, overvoltage
- Underfrequency
- Thermal overload
- Undercurrent/current unbalance
- Variable lockout time
- Overtemperature 12 RTDs (R option)
- Starts/hour, time between starts
- Voltage Phase Reversal (M option)
- Current based phase reversal
- Undervoltage Auto-restart

#### User Interface

- 40 Character LCD Display
- 10 System and Motor Status LED's
- Keypad for configuration and viewing metered values
- 4 programmable analog outputs
- 369 Motor Settings Auto-Configurator

#### Monitoring and Metering

- Metering - current, voltage, power, energy, frequency, RTD Temperature, Remote RTD
- Fault diagnosis, - Event Record, Oscillography, Motor Starting Data Logger
- Motor Health Report
- Statistical information & learned motor data
- Voltage/frequency/power display (M option)
- 4 analog outputs (M option)

#### Communications

- Front Panel RS232 port for programming and troubleshooting
- Optional embedded Ethernet port
- Optional Profibus DP/DPV1 or DeviceNet via dedicated port
- Multiple Protocols - Modbus RTU, Modbus TCP/IP

#### EnerVista™ Software

- State of the art software for configuration and commissioning GE Multilin products
- Document and software archiving toolset to ensure reference material and device utilities are up-to-date
- EnerVista™ Integrator providing easy integration of data in the 369 into new or existing monitoring and control systems



### Protection & Control

The 369 is a digital motor protection system designed to protect and manage medium sized AC motors and their driven equipment. It contains a full range of selectively enabled, self contained protection and control elements as detailed in the Functional Block Diagram and Features table.

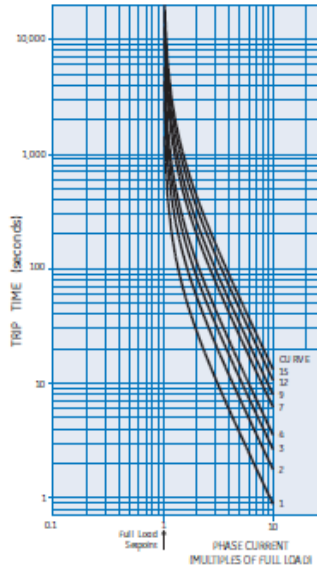
#### Motor Thermal Model

The primary protective function of the 369 is the thermal model with six key elements:

- Overload Curves
- Unbalance Biasing
- Hot/Cold Safe Stall Ratio
- Motor Cooling Time Constants
- Start Inhibit and Emergency Restart
- RTD Biasing

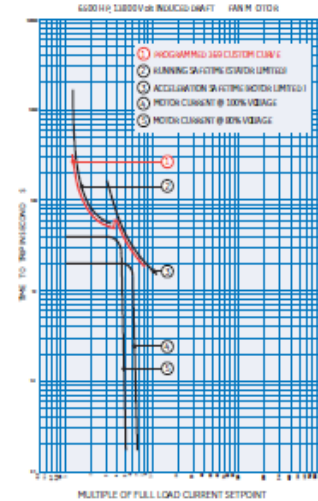
#### Overload Curves

The curves can take one of two formats: standard or custom. For all curve styles, the 369 retains thermal memory in a thermal capacity used register which is updated every 0.1 second. The overload pickup



Fifteen standard overload curves

determines where the running overload curve begins. The 369 standard overload curves are of standard shape with a multiplier value of 1 to 15.

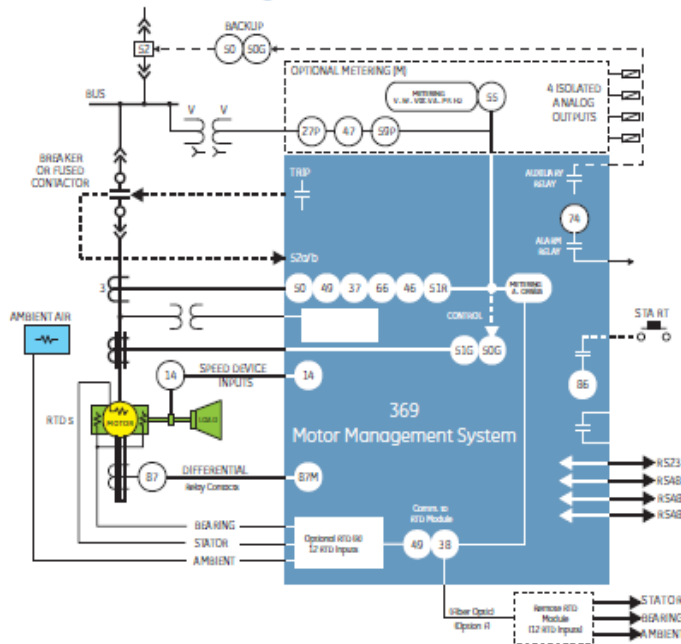


Typical FlexCurve™

#### FlexCurves™

A smooth custom overload curve is created using FlexCurves™. These curves can be used to protect motors with different rotor damage and stator damage curves, allowing total motor design capacity with complete protection.

### Functional Block Diagram



#### ANSI Device Numbers & Functions

Device Number	Function
14	Speed Switch
27P/59P	Undervoltage/Overvoltage
37	Undercurrent/Underpower
38	Bearing RTD
46	Current Unbalance
47	Phase Reversal
49	Stator RTD
50	Short Circuit and Short Circuit Backup
50G/51G	Ground Overcurrent and Ground Overcurrent backup
49	Overload
51R	Mechanical Jam
55	Power Factor
66	Starts/Hour & Time Between Starts
81Q/U	Frequency
86	Overload Lockout
87M	Differential



**Unbalance (Negative Sequence Current) Biasing**

Negative sequence current, which causes rotor heating, is not accounted for in the thermal limit curves supplied by the motor manufacturer. The 369 relay can be programmed to calculate the negative sequence current, and bias the thermal model to reflect the additional heating.

**RTD Biasing (Relay Option R)**

The thermal overload curves are based solely on measured current, assuming a normal 40°C ambient and normal motor cooling. If the motor cooling systems fail, or if the ambient temperature is unusually high, standard overload protection will not detect the increase in temperature.

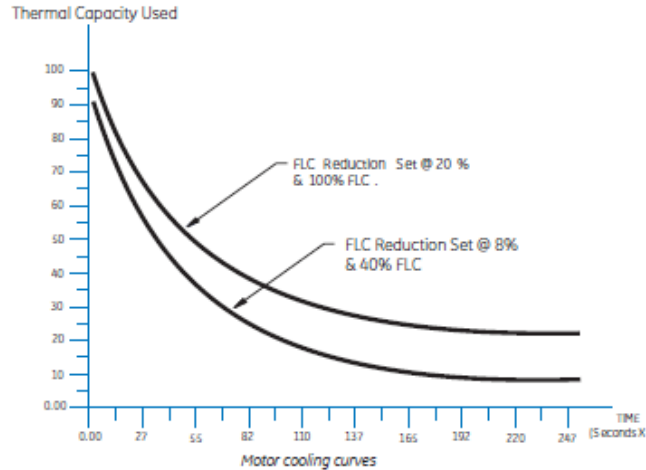
When ordered with the RTD option, the 369 can monitor the actual motor temperature, and calculate the Thermal Capacity Used (TCU) based on the RTD Bias curve. This TCU value will then be compared with the TCU determined by the overload curve. The higher of the two values will be used. For RTD temperatures below the RTD BIAS MINIMUM setting, no biasing occurs. For maximum stator RTD temperatures above the RTD BIAS MAXIMUM setting, the thermal memory is fully biased and forced to 100%.

**Cool Time Constants**

The 369 has a true exponential cooldown characteristic which mimics actual motor cooling rates, provided that motor cooling time constants are available for both the stopped and running cases. When ordered with the RTD option, the stopped and running cool time constants will can be calculated by the 369 based on the cooling rate of the hottest stator RTD, the hot/cold stall ratio, the ambient temperature (40 ° C if no ambient RTD), the measured motor load and the programmed service factor or overload pickup.

**Start Inhibit**

The Start Inhibit function prevents starting of a motor when insufficient thermal capacity is available or a motor start supervision function dictates the start inhibit.



**Undercurrent (Minimum Load)**

The undercurrent function is used to detect a decrease in motor current caused by a decrease in motor load. This is especially useful for indication of conditions such as loss of suction for pumps, loss of airflow for fans, or a broken belt for conveyors. A separate undercurrent alarm level may be set to provide early warning.

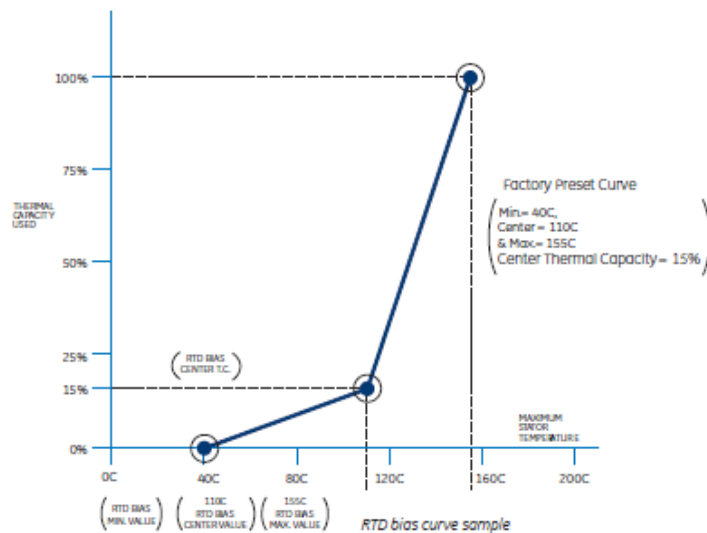
**Ground Overcurrent**

For zero sequence ground overcurrent protection, all three of the motor conductors must pass through a separate ground CT. CTs may be selected to detect either high-impedance zero sequence

ground or residual ground currents. The ground fault trip can be instantaneous or time delayed by up to 255 seconds. A low level of ground fault pickup is desirable to protect as much of the stator winding as possible. A 50:0.025 A CT, 1 A or 5 A CT may be used for ground fault detection.

**Rapid Trip/Mechanical Jam**

During Overload conditions, quick motor shutdown can reduce damage to gears, bearings, and other mechanical parts associated with the drive combination. The Mechanical Jam protection will operate for currents above a user-programmable pickup level.



### RTD Protection (Relay Option R)

The 369 R option provides a total of 12 programmable RTD inputs that are used for monitoring the Stator, Bearing and ambient temperatures. Each RTD input has 3 operational levels: alarm, high alarm and trip. The 369 supports RTD trip voting and provides open and short RTD failure alarms. Alternatively, a remote RTD module (RRTD) can also be used with the 369 for temperature monitoring.

### Back-Spin Detection (Option B)

The Back-Spin Detection option is used to detect flow reversal of a pump motor when check valves are not functioning or are non-existent. Once the pump has stopped rotating, the Back-Spin Detection option will allow the pump to safely restart, minimizing downtime and preventing motor damage.

The Back-Spin Detection option uses sensitive circuits to detect the voltage produced by the back-spinning motor. Digital signal processing techniques determine the direction of rotation and predict the pump stop time. The metering option (M) is included in the Back-Spin Detection option (B) option.

### VFD Applications

The 369 is capable of protecting motors fed from variable frequency drives (VFDs), including pulse width modulated (PWM) drives. The 369 has been extensively tested with varying current waveforms and frequencies ranging from 20 to 100Hz.

### Two Speed Motor Applications

The 369 is capable of protecting two speed motors. The 369 has dual overload curves for two speed motor application so that each speed is adequately protected.

### Undervoltage Auto-restart

This feature can be used to restart a motor after an undervoltage trip caused by a momentary power loss. When enabled, the 369 will issue a re-start command to the motor. If the system power is restored to above the Pickup / Restoration setting. This element includes two independent sets of power loss and restart delay timers to allow customization of the scheme.

## Inputs and Outputs

The 369 features a variety of digital input and output channels. Any of the programmable digital inputs may be selected and programmed as a separate General Switch, Digital Counter, or Waveform Capture Input. In addition the programmable digital inputs may be selected and programmed to perform one of the following functions: Emergency Restart, Differential Switch, Speed Switch, or Remote Reset as described below.

### Setpoint Access

These terminals must be shorted together in order to store new setpoints using the relay keypad.

### Emergency Restart

It may be necessary to restart a faulted motor for reasons of production or safety. To override a start inhibit or overload trip lockout condition, the emergency restart feature can be used. This clears the thermal memory, allowing a manual reset and restart. The 369 can also be programmed to provide a single shot emergency restart following an overload trip. The accumulated thermal capacity used value is automatically reduced to a level that will allow a restart. After the restart attempt, if the relay trips the motor again on running overload, it will remain latched for the appropriate lock-out time.

### Speed Switch Input

The speed switch input terminals allow use of an external speed device. This is typically used to allow a locked rotor condition to be distinguished from a normal start, and to shut down following a short delay.

### Differential Relay Input

The differential input accepts contact closure from an external differential relay to trip the protected motor via the 369.

### Spare Input

The spare input terminals can be configured to represent either a standard or a specific contact input. The Spare input is generally used as the starter status contact. The 52b contact from a circuit breaker gives positive identification of the

position of the breaker (open or closed), and should be used with any synchronous machine, or induction motor that may run unloaded.

### Remote Reset

This input can be used for remote or automatic reset from a control switch, a PLC, or a DCS output.

### Outputs

The 369 has four output relay contacts. The trip relay acts as the main latched output relay. An alarm and two auxiliary output relays are also provided. The Alarm and Auxiliary 1 relays may be programmed for latched or unlatched modes. All relays may be programmed fail-safe or non fail-safe.

### Analog Outputs (Option M)

Three optional isolated analog outputs are provided (in addition to the single analog output available in the base model). Use the configurable analog outputs to provide standard transducer signals to local monitoring equipment. They can be field selected as 0 to 1, 0 to 20 or 4 to 20 mA outputs. The analog outputs can be configured to provide suitable outputs based on any measured analog value, or any calculated quantity.

## Monitoring and Metering

The 369 offers a choice of optional monitoring and metering functions including:

### Actual Values

Actual values can be viewed for:

- Average and individual phase currents
- RTD temperatures (hottest, individual, maximum) (R Option)
- Current Unbalance
- Ground leakage current
- Thermal capacity remaining / estimated time to trip at present overload level
- Motor load as a percent of full load
- Phase-to-phase or phase-to-neutral voltage (M option)
- W, var, MW/hr, PF, Hz (M option)

### Metering (Option M)

The 369 metering option provides monitoring of quantities such as PF, kW, and frequency. Several protection functions can be performed based on these parameters, including:

- Voltage
- Watts ( kW, MW )
- Vars ( kVar, MVar)
- Power factor
- Frequency
- Energy (MWh)

### Pre-Trip Alarms

The 369 can trigger an alarm prior to a trip caused by the following conditions:

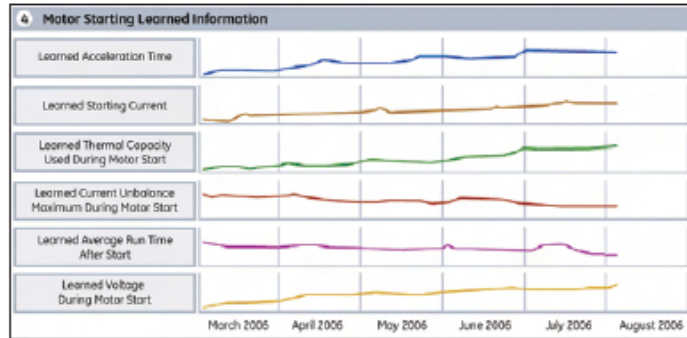
- Immediate overload/stall warning
- Ground fault
- Mechanical jam
- Unbalance
- Undercurrent
- RTD overtemperature, broken RTD sensor, low temperature RTD
- Internal Self-test
- Under/overvoltage (M option)
- Low power factor (M option)

### Event Recorder

After a trip, the cause of the trip, measured current values, unbalance, and temperature present at the time of trip are displayed. If the M or B options have been ordered, information will also include voltages, power, and frequency. This information helps facilitate troubleshooting. An event record of the last 512 events helps identify persistent problems.

### Oscillography

The 369 will record up to three waveform records, each capturing 16 cycles of data. The oscillography will be triggered when a trip is issued by the 369 relay. Information captured includes phase and ground currents, phase voltages (M option) and the status of contact inputs and outputs. Each record will be time and date stamped, and will include the cause of trip.



Track changes in motor starting characteristics, identifying potential failures before they become critical

### Statistical Data

The 369 records the following statistical data:

- Total running hours
- Number of motor starts
- Total number of motor trips
- Breakdown of types of motor trips
- Total accumulated mega-watt hours (with the M option)

This information can help diagnose common motor faults, as well as assist in planning preventative maintenance.

### Learned Information

The 369 learns the starting characteristics of the motor, providing information that will assist with troubleshooting faults that

occur during starting, as well as planning preventative maintenance.

- Acceleration time
- Starting Current
- Thermal capacity used during start
- Cool time Constants
- Unbalance K factor
- Average Motor Load

### Motor Start Data Logger

In addition to the learned information captured for every start, the Motor Start Data Logger will record up to 30 seconds of digital and analog waveforms during motor starts. Captured information includes:



Troubleshoot faults that occur during motor starts using the Motor Start Data logger.



- Average Phase Current
- Current Unbalance
- Ground Current
- Average Voltages
- Thermal Capacity Used
- System Frequency
- Breaker Status contact

### Testing

A simulation mode allows forcing relay contacts and analog outputs without the need for a relay test set. This is an ideal tool during commissioning for system functional testing.

## User Interfaces

### Display and Keypad

The 40-character display and keypad provide convenient local communications and control. Setpoints can be adjusted using the keypad and display. To help prevent unintentional setting changes, a setpoint access input must be shorted before changes can be made. The display module can be separated from the relay and mounted remotely.

### LED Indicators

Ten LED indicators on the front panel provide quick visual indication of the motor status.

### Remote Display

The 369 can be installed with the display mounted remotely, reducing the required mounting space within the panel.

### Communications

A front RS232 port is provided for downloading setpoints and interrogating the relay using the EnerVista™ 369.

Three independent rear RS485 ports offer the customer flexibility and performance for their communication network. The 369 can communicate at baud rates up to 19,200 bps using the industry standard Modbus® RTU protocol. Fiber optic (option F) Profibus interface (option P), DeviceNet (option D), and Ethernet (option E) ports are also available. The optional direct connect RJ45 Ethernet port can be used to connect the 369 to 10 Mbps Ethernet networks. The communication system of the 369 is designed to allow simultaneous communication via all ports.

Using Ethernet as the physical media to

integrate the 369 to Local or Wide Area Networks replaces a multidrop-wired network (e.g., serial Modbus®), and eliminates expensive leased or dial-up connections, reducing operating costs.

## EnerVista™ Software

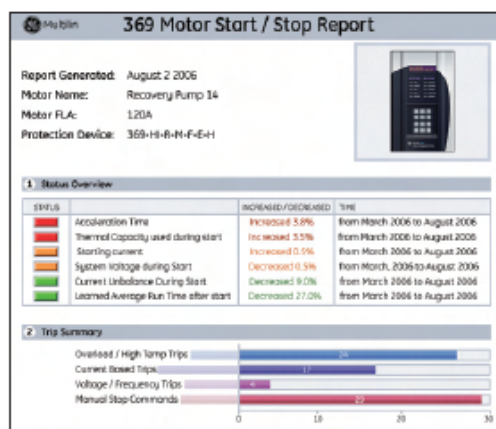
The EnerVista™ Suite is an industry leading set of software programs that will simplify every aspect of using the 369 relay. Tools to monitor the status of the motor, maintain the relay, and integrate information measured by the 369 into HMI or SCADA monitoring systems are available. Also provided are the utilities to analyze the cause of faults and system disturbances using the powerful waveform and Sequence of Event viewers that come with the EnerVista™ 369 Setup Software that is included with each relay.

### EnerVista™ Launchpad

EnerVista™ Launchpad is a powerful software package that provides users with all of the setup and support tools needed for configuring and maintaining GE Multilin products. Launchpad allows configuring devices in real-time by communicating using serial, Ethernet, or

## Power System Troubleshooting

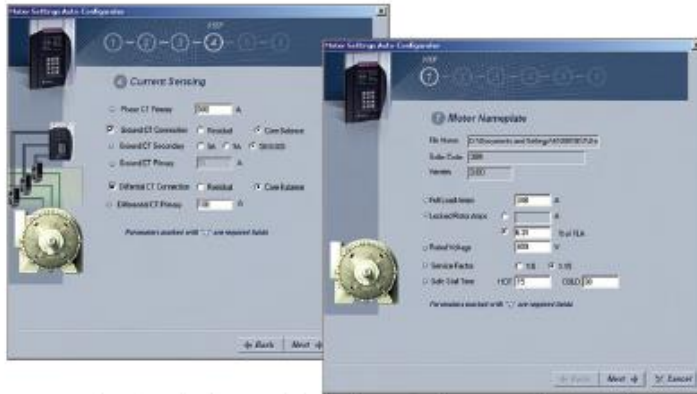
The 369 contains many tools and reports that simplify and reduce the amount of time required for troubleshooting power system events.



The Motor Health Report allows you to easily "see" how your motor is doing:

- Start/stop history
- Comprehensive trip details
- Learned acceleration time and starting current
- Many other motor health details

Track changes to settings in the 369 with the built-in setting security audit trail report



Create complete settings files for your 369 in 6 simple steps using the Motor Settings Auto-Configurator.

modem connections, or offline by creating setting files to be sent to devices at a later time. Included in Launchpad is a document archiving and management system that ensures critical documentation is up-to-date and available when needed. Documents made available include:

- Manuals
- Application Notes
- Guideform Specifications
- Brochures

- Wiring Diagrams
- FAQs
- Service Bulletins

**Motor Settings Auto-Configurator**

Included with every 369 relay is the Motor Settings Auto-Configurator. This configurator will generate a complete 369 settings file based on motor nameplate and system information entered by the user. Once all information is entered, the auto-configurator will generate the settings

file, as well as provide documentation indicating which settings were enabled, along with an explanation of the specific parameters entered.

**Motor Health Report**

This reporting function is included with every 369 relay, providing critical information on the historical operating characteristics of your motor during motor starting and stopping operations. Included in the report are:

- Motor operation historical timeline, displaying start, emergency restart, stop, trip, and alarm operations.
- Historical record of motor trips
- Extensive trending of motor learned information (trending information up to a maximum of 1250 motor start operations)
- High Speed motor start data logger trends, including current, current unbalance, voltage, frequency, TCU and breaker contact status during start

**Viewpoint Maintenance**

Viewpoint Maintenance provides tools that will increase the security of your 369, create reports on the operating status of the relay, and simplify the steps to troubleshoot protected motors. Tools available in Viewpoint Maintenance include:

- Settings Audit Trail Report
- Device Health Report
- Comprehensive Fault Diagnostics

**EnerVista™ Integrator**

EnerVista™ Integrator is a toolkit that allows seamless integration of GE Multilin devices into new or existing automation systems.

Included in EnerVista Integrator is:

- OPC/DDE Server
- GE Multilin Drivers
- Automatic Event Retrieval
- Automatic Waveform Retrieval

**Front Panel**

**Display**

40 Character LCD display for viewing actual values and programming setpoints

Rugged, corrosion and flame retardant case

**Status Indicators**

4 LEDs indicate when an output is activated.

**Motor Status Indicators**

LEDs indicate if motor Stopped, Starting, Running, Overloaded, or Locked out due to an active Start Inhibit element.

**Keypad**

Used to display actual values, causes of alarms, causes of trips, fault diagnosis information, and to program setpoints

**Computer Interface**

RS232 comm port for connecting to a PC. Use for downloading setpoints, monitoring, data collection & printing reports





Technical Specifications

**PROTECTION**

**OVERLOAD CURVES TRIP TIME**  
 Curves: 15 curves, fixed shape/prog. FlexCurve™  
 Overload pickup: 1.0 – 1.25 x FLA  
 Accuracy: Pickup: ±1% of full scale  
 Time: ±100 ms or ±2% of total trip time

**SHORT CIRCUIT AND GROUND TRIP**  
 Ground trip level: 0.25 – 25.00 A (50.0.025 CT)  
 10 – 100% (1 A/5 A CT)  
 S/C trip level: 2 – 20 x CT, OFF

Intentional delay: INST. or 10 ms to 2000 ms  
 I<sup>2</sup>/Q (GROUND)  
 45 ms

**START PROTECTION**

Thermal: Separate start and run protection  
 Activation: Inrush current increases 5% to >101% FLC in 1 sec  
 Current drops <Overload Pickup Level  
 Deactivation: motor running if current >5% FLC  
 2 – 10 x FLC  
 1.0 – 600.0 sec

**THERMAL MODELING**

Thermal capacity: Separate stop/run, exponential cool down  
 Cool rate: Stop: cool time constant 1 – 500 min  
 Run: cool time constant 1 – 500 min  
 Hot/cold: 50 – 100%, hot after 15 min running  
 Lockout: 1 – 500 min programmable  
 ±20% power on or off

**UNBALANCE**

Range: 4 – 30%  
 Accuracy: ±2%  
 Delay: 0 – 255 sec

$$\text{Calculation: } I_{av} > I_{FLC} \quad UB\% = \left( \frac{I_m - I_{av}}{I_{av}} \right) \times 100\%$$

$$I_{av} < I_{FLC} \quad UB\% = \left( \frac{I_m - I_{av}}{I_{FLC}} \right) \times 100\%$$

where:  
 $I_{av}$  = average phase current  
 $I_m$  = phase with maximum deviation from  $I_{av}$   
 $I_{FLC}$  = motor full load current setting

**METERING**

**PHASE CURRENT INPUTS**  
 Conversion: True rms, sample time 1.04 ms  
 CT input: 1 A and 5 A secondary  
 Range: 0.05 to 20 x phase CT primary amps  
 Full scale: 20 x phase CT primary amps  
 Frequency: 20 – 300 Hz  
 Accuracy: @ < 2 x CT 0.5% of 2 x CT  
 @ > 2 x CT 1.0% of 20 x CT

**GROUND CURRENT INPUT (GF CT)**

CT input (rated): 1 A / 5 A secondary and 500.0.025  
 1 – 5000 A (1 A / 5 A)  
 Range: 0.1 to 1.0 x CT primary (1 A / 5 A)  
 0.05 to 16.0 A (50.0.025)  
 Full scale: 1.0 x CT primary (1 A / 5 A)  
 Frequency: 20 – 100 Hz  
 Conversion: True rms 1.04 ms / sample  
 Accuracy: ±1% of full scale (1 A / 5 A)  
 ±0.07 A @ 1 A (50.0.025)  
 ±0.20 A @ 16 A (50.0.025)

**PHASE/LINE VOLTAGE INPUT(S) (OPTION M)**

VT ratio: 1.00 – 240.1 in steps of 0.01  
 VT secondary: 240 VAC (full scale)  
 Range: 0.05 – 1.00 x full scale  
 Frequency: 20 – 100 Hz  
 Conversion: True rms 1.04 ms/sample  
 Accuracy: ±1.0% of full scale  
 Burden: >200 kΩ  
 Max continuous: 280 VAC

ACCURACY			
PARAMETER	(FULL SCALE)	RESOLUTION	RANGE
kW	±2%	1 kW	±32,000
kvar	±2%	1 kvar	±32,000
kVA	±2%	1 kVA	0 – 50,000
mWh	±2%	1 MWh	0 – 65,535
±kvarh	±2%	1 kvarh	0 – 65,535
Power Factor	±1%	0.01	±0.00 – 1.00
Frequency	±0.02 Hz	0.01 Hz	20.00 – 100.00
kW Demand	±2%	1 kW	0 – 50,000
kvar Demand	±2%	1 kvar	0 – 50,000
kVA Demand	±2%	1 kVA	0 – 50,000
Amp Demand	±2%	1 A	0 – 65,535

**MONITORING**

**WAVEFORM CAPTURE**  
 Length: 3 buffers containing 16 cycles of full current and voltage channels  
 Trigger position: 1 – 100% pre-trip to post-trip  
 Trigger: trip, manually via communications or digital input

**INPUTS**

**RTDS INPUTS (OPTION R):**  
 Wire type: 3-wire  
 Sensor type: 100 Ω platinum (DIN 43760)  
 100 Ω nickel, 120 Ω nickel  
 10 Ω Copper  
 RTD sensing current: 3 mA  
 Range: -40 to 200° C or -40 to 424° F  
 Lead resistance: 25 Ω max for Pt and Ni type  
 3 Ω max for Cu type  
 36 Vpk

Isolation: **BSD INPUTS (OPTION B)**  
 Frequency: 2 – 300 Hz  
 Dynamic BSD: 30 mV – 575 V rms  
 range:  
 Accuracy: ±0.02 Hz

**DIGITAL / SWITCH INPUTS**

Inputs: 6 optically isolated  
 Input type: Dry contact (<800 Ω)  
 Programmable  
**CT INPUTS**

PHASE CT	PHASE CT BURDEN		
	INPUT (A)	VA	BURDEN (m)
1A	1	0.03	0.03
	5	0.64	0.03
	20	11.7	0.03
	5	0.07	0.003
5A	25	1.71	0.003
	100	31	0.003

GROUND CT	GROUND CT BURDEN		
	INPUT (A)	VA	BURDEN (Ω)
1 A	1	0.04	0.036
	5	0.78	0.031
	20	6.79	0.017
	5	0.07	0.003
5 A	25	1.72	0.003
	100	25	0.003
	0.025	0.24	384
	0.1	2.61	261
50.0.025	0.5	37.5	150

GROUND/PHASE CT	GROUND/PHASE CT CURRENT WITHSTAND		
	WITHSTAND TIME		
CT	1 s	2 s	continuous
1A	100 x CT	40 x CT	3 x CT
5A	100 x CT	40 x CT	3 x CT
50.0.025	10 A	5 A	150 mA

**COMMUNICATIONS**

RS232: Front port (up to 19,200 bps, Modbus® RTU)  
 RS485: 3 rear ports (up to 19,200 bps, 36 V isolation, Modbus® RTU)  
 Fiber Optic: Option F rear port (up to 19.2 kbps, Modbus® RTU)  
 Profibus: Option P rear port (up to 12 Mbps, Profibus DP and Profibus DPV1)  
 Ethernet: Modbus TCP/IP 10base  
 DeviceNet: Option D rear port (up to 500 kbps)

**POWER SUPPLY**

**CONTROL POWER**  
 Input: LO: 20 – 60 VDC  
 20 – 48 VAC 50 / 60 Hz  
 HI: 50 – 300 VDC  
 40 – 265 VAC 50 / 60 Hz  
 Power: Nominal: 20 VA  
 Maximum: 65 VA  
 Holdup: Non-failsafe trip: 200 ms  
 Failsafe trip: 100 ms

**OUTPUTS**

OUTPUT	PROGRAMMABLE		
	0 – 1 mA	0 – 20 mA	4 – 20 mA
MAX LOAD	2400 W	600 W	600 W
MAX OUTPUT	1.01 mA	20.2 mA	20.2 mA

Accuracy: ±1% of full scale  
 Isolation: 50 V isolated active source

**OUTPUT RELAYS**

Rated Load	RESISTIVE LOAD (PF = 1)	INDUCTIVE LOAD (PF = 0.4) (L/R = 7ms)
		8 A @ 250 VAC
Carry Current	8 A	
Max Switching Capacity	2000 VA	875 VA
Max Switching V	380 VAC / 125 VDC	
Max Switching I	8 A	
Operate Time	< 10ms (5ms typical)	
Contact Material	Silver alloy	

**TYPE TESTS**

Dielectric: 2.0 kV for 1 min to relays, CTs, IEC255-5 500 VDC  
 Insulation: ANSI C37.90.1 oscillatory 2.5kV/1 MHz  
 Transients: ANSI C37.90.1 fast rise 5 kV/10 ns  
 Ontario Hydro A-28M-82  
 IEC/EN 61000-4A Level 4, Frequency disturbance Class III Level IEC60255-5  
 Impulse test: C37.90.2 electromagnetic interference @ 150 MHz and 450 MHz, 10 V/m  
 RFI: IEC60255-2-2 Level 2  
 EMI: IEC60068-2-38 Part 2, IEC60255-6  
 Static: IP50  
 Environment: IP50  
 Dust/moisture: IP50

**ENVIRONMENTAL**

Operating Temperatures: Cold: IEC60068-2-1, 16hrs at -40°C  
 Dry Heat: IEC60068-2-2, 16hrs at +85°C  
 Humidity (non-condensing): IEC60068-2-30, 95%, variant 1, 6 days  
 LCD contrast impaired below -20° C

**PACKAGING**

Shipping Box: 12" x 12" x 8" (L x H x D)  
 305 mm x 305 mm x 203 mm (L x H x D)  
 Ship Weight: 10 lbs / 4.5 kg

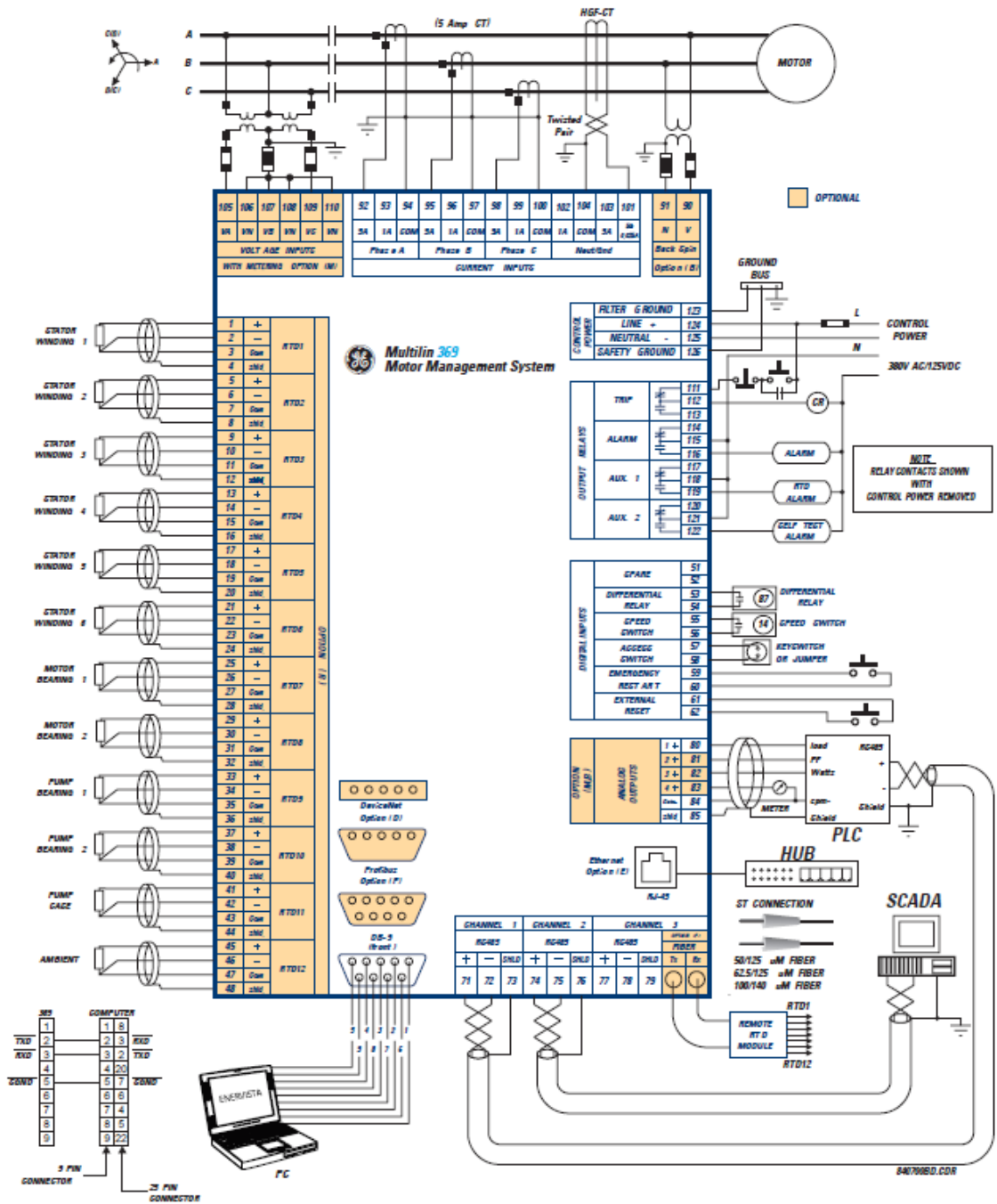
**APPROVALS:**

ISO: Manufactured under an ISO9001 registered system  
 UL: Recognized under E234799  
 UL Class 1 Div 2 (Option Mod502)  
 CSA: C22.2 no.142, C22.2 no.213  
 EN 55011/CISPR11, EN50082-2, IEC947-1, IEC1010-1

\*Specifications subject to change without notice.



Typical Wiring



Ordering

369	*	*	*	*	*	*	
369							Basic unit (no RTD)
	HI						50 – 300 VDC / 40 – 265 VAC Control Power
	LO						20 – 60 VDC / 20 – 48 VAC Control Power
		R					Optional 12 RTD inputs (built-in)
		0					No optional RTD inputs
			M				Optional metering package
			B				Optional backspin detection (includes metering)
			0				No optional metering package or backspin detection
				F			Optional fiber optic port
				0			No optional fiber optic port
					P		Optional Profibus DP0 Interface
					P1		Optional Profibus DPV1 Interface
					E		Optional Modbus® TCP over Ethernet interface
					D		Optional DeviceNet protocol
					0		No optional protocol interfaces
						H	Harsh Chemical Environment Option
						E	Enhanced diagnostics (includes enhanced motor diagnostics, enhanced event recorder, security audit trail) and enhanced faceplate
						0	No enhanced diagnostics and basic faceplate