

DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO EN BOMBAS CENTRÍFUGAS Y MÁQUINAS DISPENSADORAS DE CAFÉ Y AGUA EN EL EDIFICIO BANCOLOMBIA DIRECCIÓN GENERAL MEDELLÍN

Juan Carlos Amaya Bustos

John Anderson Henao González

Jhon Jairo Monroy Urrego

Carlos Alberto Acevedo Álvarez, IM.

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

2016

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RESUMEN

Este trabajo de grado va enfocado al inicio de un programa de ahorro energético mediante la implementación de dos sistemas de automatización eléctrica para el sistema de impulsión de agua potable, y el control de dispensadores de café y agua en el edificio Bancolombia Dirección General. Los recursos que se utilizaron en este proyecto son, el analizador de red Fluke 434 serie 2 para el sistema de bombeo de agua potable y el medidor digital de potencia iEM3000 para las máquinas dispensadoras de café y agua.

Con los instrumentos descritos logramos evidenciar un consumo energético elevado y el ahorro que se lograría implementando un variador de velocidad para el sistema de impulsión, y un sistema de control de interruptores automáticos para las máquinas dispensadoras de café y agua.

Concluimos que es viable automatizar dichos sistemas, ya que el estudio demuestra que se puede reducir el alto costo de energía que generan las bombas centrifugas, instalando el variador de velocidad MICROMASTER 440, el cual puede ahorrar hasta el 70% del consumo. Mientras que para el control de las máquinas dispensadoras se hará el traslado del circuito de alimentación a un tablero automatizado y controlado por un software llamado PowerLink, el cual desconectará el suministro de energía en horarios no laborales.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RECONOCIMIENTOS

A Dios, por darnos el entusiasmo y la fortaleza para culminar este proyecto.

Al docente Carlos Acevedo, asesor del proyecto de grado, por su disposición a lo largo de este proceso.

A Sodexo S.A y Bancolombia por facilitarnos los equipos y el espacio para llevarlo a cabo.

A nuestras familias, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional.

A nuestros compañeros de ingeniería por cada aporte de conocimiento y dedicación en el ciclo académico.

Al Instituto Tecnológico Metropolitano por aportar a nuestra formación integral.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ACRÓNIMOS

AMP = Amperios

AOP = Advanced Operator Panel – Panel de Operación Avanzado

BEP = Best Efficient Point - Mejor punto de eficiencia

BiCo = Binector - Conector

BOP = Basic Operator Panel- Panel de Operación básico

CEM = Compatibilidad Electromagnética

CPU = Central Processing Unit - Unidad Central de Proceso

DIP = Dual In-line Package – Paquete en línea dual

EN = Norma Europea

FCC = flux current control - Control de Flujo Corriente

FCL = fast current limitation – Limitación Rápida de Corriente

FF = Frecuencias Fijas

GFCI = Ground Fault Circuit Interrupter – Interruptor del circuito por fallo a tierra

HACR = Calefacción, Aire acondicionado y Refrigeración

HID = Alta intensidad de Descarga

hp = Horsepower – Caballos de fuerza

Hz = Hertzio

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

IEC = International Electrotechnical Commission – Comisión Electrotécnica Internacional

IGBT = Insulated Gate Bipolar Transistor – Transistor Bipolar de Puerta Aislada

IT = Transformer Isolated - Transformador Aislado

KOP = Kontaktplan - Esquema de Contactos

kW = Kilovatio

kWh = Kilovatio hora

LED = Light Emitting Diode – Diodo Emisor de Luz

mA = Miliamperios

mm = Milímetros

NEC = National Electrical Code – Código Eléctrico Nacional

NEMA = National Electrical Manufacturers Association - Asociación Nacional de fabricantes eléctricos

Nm = Newton metro

NPSH = Net Positive Suction Head - Carga de succión positiva neta

NTC = Norma Técnica Colombiana

Pa = Pascal

PID = proporcional, integral y diferencial

PLC = Programmable Logic Controller– Control Lógico programable

PSI = Pounds-force per Square Inch - libras fuerza por pulgada cuadrada

Pulg = Pulgadas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RTG = Resistance To Ground – Resistencia a Tierra

SDP = Status Display Panel – Panel de estado

SI = Sistema Internacional de Unidades

SWD = Servicio de Desconexión

UL = Underwriters Laboratories

UMA's = Unidades Mejoradoras del Aire

USA = United States of America

VAC = Voltaje Corriente Alterna

W = Vatio

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

CONTENIDO

1. CONTEXTO DEL PROYECTO	15
1.1 Introducción	15
1.2 Antecedentes	18
1.3 Objetivos	19
1.4 Organización del trabajo	20
2. MARCO TEÓRICO	29
2.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS	29
2.1.1 Principio de funcionamiento	29
2.1.2 Variables de operación de las bombas centrífugas.....	30
2.1.2.1 Presión.....	30
2.1.2.2 Presión dinámica	30
2.1.2.3 Presión estática	30
2.1.2.4 Presión de flujo.....	30
2.1.2.5 Presión de la bomba.....	31
2.1.2.6 Altura de recorrido del fluido.....	31
2.1.3 Curvas de funcionamiento	31
2.1.3.1 Curva característica de la bomba	31
2.1.3.2 Curva de operación del sistema	33
2.1.3.3 Carga estática total.....	33
2.1.3.4 Carga dinámica total	33

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.4 Problemas comunes de mantenimiento	34
2.1.4.1 Desbalanceo	34
2.1.4.2 Desalineamiento o problemas del eje.....	34
2.1.4.3 Falla eléctrica	34
2.1.4.4 Rodamientos	35
2.1.4.5 Cavitación	36
2.1.4.6 Sellos mecánicos	36
2.1.4.7 Manipulación inapropiada de los componentes del sello	37
2.1.4.8 Montaje incorrecto del sello	37
2.1.4.9 Selección impropia del sello.....	37
2.1.4.10 Procedimiento inapropiados de arranque y operación	37
2.1.4.11 Contaminantes dentro del fluido	38
2.1.4.12 Malas condiciones del equipo.....	38
2.1.5 Tendencias actuales de fabricación	38
2.1.5.1 Selección de la bomba	39
2.1.5.2 Diseño de la caja de relleno	39
2.1.5.3 Fuerzas de la boquilla.....	40
2.1.5.4 Selección del sello	41
2.1.5.5 Almacenaje.....	41
2.1.5.6 Ubicación de la bomba	41
2.1.5.7 Instalación de la bomba	42
2.1.5.8 Conexión de tubería	42
2.1.5.9 Control de la presión de relleno.....	43
2.1.5.10 Confiabilidad de rodamientos.....	43

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.5.11 Mantenimiento	44
2.1.5.12 Puntos clave para el diseño.....	44
2.1.6 Norma Técnica Colombia NTC 4704-3.....	45
2.2 MOTORES ELÉCTRICOS	46
2.2.1 Principio de funcionamiento de los motores eléctricos.....	46
2.2.1.1 Motores de corriente continua	48
2.2.1.2 Motores de corrientes alterna	49
2.2.1.3 Arranque Estrella-Delta.....	49
2.2.2 Variables de operación de los motores eléctricos	50
2.2.2.1 La carga.....	50
2.2.2.2 La red.....	50
2.2.2.3 El arranque	51
2.2.3 Problemas comunes de mantenimiento	52
2.2.3.1 Circuito de potencia	53
2.2.3.2 Calidad de energía.....	54
2.2.3.3 Aislamiento.....	56
2.2.3.4 Estator	56
2.2.3.5 Rotor.....	56
2.2.3.6 Excentricidad	56
2.2.4 Tendencias actuales de fabricación	58
2.2.4.1 Desarrollo de motores de alta eficiencia	59
2.2.5 Control Automático	61
2.2.5.1 Variables del sistema	61

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2.5.2 Entrada	61
2.2.5.3 Salida	61
2.2.5.4 Perturbación.....	62
2.2.5.5 Diagrama funcional	62
2.2.5.6 Lazo Abierto	63
2.2.5.7 Lazo Cerrado.....	64
2.2.5.8 Realimentación.....	64
2.2.5.9 Variador de velocidad	64
2.2.6 Norma Técnica Colombiana NTC-IEC 34-12	65
2.3 MÁQUINAS DISPENSADORAS DE CAFÉ Y AGUA.....	66
2.3.1 Principio de funcionamiento dispensador de agua.....	68
2.3.1.1 Compresor	70
2.3.1.2 Condensador	71
2.3.1.3 Válvula de expansión	72
2.3.1.4 Evaporador	73
2.3.1.5 Resistencia eléctrica.....	73
2.3.2 Variables de operación de las Máquinas dispensadoras de agua.....	74
2.3.3 Problemas comunes de mantenimiento de los dispensadores de agua.....	74
2.3.4 Principio de funcionamiento dispensador de café	75
2.3.4.1 Electroválvula de entrada de agua.....	76
2.3.4.2 Flotador lleno residuos líquidos	76
2.3.4.3 Filtro mecánico.....	76
2.3.4.4 Air-break.....	76

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.4.5 Contenedor de café en granos	76
2.3.4.6 Grupo de infusión.....	76
2.3.4.7 Grupo de electroválvulas	76
2.3.4.8 Caldera	77
2.3.4.9 Contador volumétrico	77
2.3.4.10 By-pass	77
2.3.4.11 Bomba de vibraciones.....	77
2.3.4.12 Grupo de boquillas de suministro	77
2.3.5 Variables de operación de las máquinas dispensadoras de café.....	77
2.3.6 Problemas comunes de mantenimiento de los dispensadores de café.....	78
2.3.7 Tomas corrientes GFCI	78
2.3.8 Interruptor Termomagnético	79
2.3.9 Software: PowerLink G3.....	81
2.3.9.1 Sistemas de control convencional.....	81
2.3.9.2 Sistema de control PowerLink G3	82
2.3.9.3 Tablero de alumbrado inteligente	83
2.3.9.4 interruptor termomagnético ECB-G3.....	84
2.3.9.5 UL (Underwriters Laboratories)	85
2.3.9.6 Vista interna interruptor termomagnético ECB-G3	85
2.3.9.7 Buses de control G3	86
2.3.9.8 Interfaz de voltaje PS120PSG3	86
2.3.9.9 Módulo de control PowerLink NF2000G3.....	87
2.3.9.10 Protocolo de comunicación Modbus	88
2.3.10 Norma Técnica Colombiana NTC 2050.....	88

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3 AUDITORÍA ENERGÉTICA	90
3.1 Pasos para realizar una auditoría	93
3.2 Tendencias actuales de realización de auditorías	97
3.3 Gestión Energética	99
3.4 Elementos fundamentales de realización de la auditoría energética	100
3.4.1 Visita Técnica	101
3.4.2 Planeación del trabajo de visita técnica	101
3.4.3 Levantamiento de información de Campo	102
3.4.3.1 Levantamiento de información de campo Bombas Centrífugas	102
3.4.3.2 Funcionamiento actual del sistema de bombeo	103
3.4.3.3 Levantamiento de información de campo máquinas dispensadoras de café y agua	107
3.4.3.4 Funcionamiento actual de las máquinas dispensadoras	109
3.4.3.5 Analizador de redes Fluke 434-II	111
3.4.3.6 Medidor digital de potencia Schneider Electric	116
3.4.4 Manejo de Datos	118
3.4.4.1 Mediciones de Motores trifásicos	119
3.4.4.2 Mediciones en consumo de energía en Máquinas dispensadoras	124
4. METODOLOGÍA.....	127
4.1 Sistema de control y potencia eléctrica de las bombas centrífugas	128
4.1.1 Planos de conexión eléctrica de control y potencia	128
4.1.2 Sistema de Control	132
4.1.3 Sistema de Potencia	135

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2 Variador de Frecuencia MICROMASTER 440.....	143
4.2.1 Instalación del convertidor.....	148
4.2.2 Instalación mecánica	150
4.2.3 Instalación eléctrica.....	154
4.2.4 Puesta en servicio.....	157
4.3 Control Lógico Programable (PLC).....	170
4.3.1 Comunicación PLC-MICROMASTER 440	170
4.3.2 Modo de operación	171
4.3.3 Frecuencias fijas	173
4.3.4 Declaración de variables	176
4.3.5 Creación de nuevo proyecto	177
4.3.6 Configuración de Hardware	180
4.3.7 Programación	183
4.4 Sistema eléctrico máquinas dispensadoras de café y agua	190
4.4.1 Plano de conexión eléctrica actual.....	191
4.4.2 Automatización del sistema de alimentación eléctrica.....	192
4.4.3 Diagrama de conexión eléctrica propuesto	199
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	200
5.1 Bombas Centrífugas	201
5.1.1 Gráficas de consumo	201
5.1.1.1 Tensión y Corriente	201
5.1.1.2 Frecuencia/Desequilibrio	204
5.1.1.3 Potencia.....	206

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

5.1.1.4 Energía.....	216
5.1.1.5 Pérdidas de Energía.....	220
5.1.2 Soluciones y ahorro de energía con el variador de velocidad	225
5.2 Ahorro en Bombas y Máquinas dispensadoras de café y agua.....	231
6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.	233
7. REFERENCIAS	236
8. APÉNDICE.....	237

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

1. CONTEXTO DEL PROYECTO

1.1 Introducción

Mediante un estudio del consumo energético de los equipos en diferentes zonas del edificio Bancolombia Dirección General de Medellín se encuentra la posibilidad de optimizar energéticamente varias áreas específicas; todo esto con el objetivo de lograr una mayor eficiencia en sus procesos y que ineludiblemente influirá en un menor costo económico de la energía eléctrica para el inmueble. Cabe mencionar que previamente se realizó un estudio de campo, el cual sirvió como trabajo de grado del Ingeniero Gabriel González para la Universidad Antonio Nariño, el mismo consiste en el diseño de un sistema de aire acondicionado alterno por suministro de agua helada a este mismo edificio. El planteamiento que presentamos pretende considerar otros sectores de los dos bloques del edificio desarrollando así unas acciones para un programa de energético mancomunado que junto con el proyecto antes referido sea presentado como propuesta de ahorro energético en un futuro.

Con este programa base de ahorro energético se intenta ofrecer a partir de los conocimientos adquiridos de la ingeniería, una solución en aquellas áreas del edificio Bancolombia que pueden renovarse o modernizarse con el objeto de hacer más simple sus rutinas de mantenimiento, mejorar los procesos de su operación y como en todo proyecto de ingeniería, buscar reducir costos económicos por uso ineficiente de la energía. Se debe advertir que este es un proyecto que se ofrece como una propuesta y su ejecución real se verá obviamente afectado por una inversión inicial pero que la entidad fácilmente podrá recuperar y ver los resultados en los años venideros.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

El consumo de energía eléctrica en el edificio de Bancolombia Dirección General de Medellín, ha representado un desafío para los diferentes ingenieros que allí laboran, encargados de mantener a esta entidad con la certificación Leed Gold en la categoría “construcción existente”, la cual fue otorgada en enero del año 2012 y que involucra todo lo referente a las políticas ambientales y la búsqueda permanente de nuevos proyectos enfocados en reducir cada vez más los costos por consumo de este tipo de energía.

Valiéndose de las herramientas de la Ingeniería Electromecánica, y como aporte a este compromiso, el proyecto se enfoca en reducir los costos debido al alto consumo de energía eléctrica de 4 bombas centrífugas (2 de 20 hp, ubicadas en la torre sur, y 2 de 15 hp en torre norte), de igual forma para diversas máquinas dispensadoras de café y agua (Puntos fijos y Ejes 1, 16 y 17 de Torre Sur y Norte).

El consumo eléctrico debido al trabajo realizado por los motores eléctricos en general, se estima como el más alto en el edificio, representando un área esencial dentro del inmueble para promover un plan de ahorro energético; en este sentido, el estudio se dirige a la parte del consumo de energía eléctrica de las bombas centrífugas previamente mencionadas con el objeto de establecer una iniciativa ante el reto de intervenir en un futuro los demás motores eléctricos del edificio.

Dentro de la categoría que corresponde a las máquinas dispensadoras de café y agua se prevé otra modalidad importante respecto a un ahorro energético, debido a su constante funcionamiento en días u horarios en los cuales no hay personal laborando, que fácilmente se podría resolver mediante un traslado de su fuente hacia un tablero eléctrico donde se coordina la alimentación eléctrica del resto de máquinas y equipos de las dos torres con el objetivo de controlar su funcionamiento por medio de un tablero de alumbrado inteligente, Powerlink, minimizando al máximo gastos innecesarios en días u horarios inactivos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Como primera instancia de este proyecto se investigan las características de las bombas centrífugas según el fabricante, con el fin de evaluar sus condiciones de trabajo y determinar la viabilidad de elaborar un plan de ahorro energético.

Como visión propia, se prevé que podremos implementar esta reducción de consumo eléctrico en aproximadamente 300 motores trifásicos con una potencia a partir de 3 hp en adelante, utilizados en UMA's (Unidades Manejadoras de Aire), para el sistema de aire acondicionado por agua helada suministrado por 3 Chillers con los cuales cuenta el edificio, como también sistemas de extracción, inyección y presurización, entre otros.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

1.2 Antecedentes

En el año 2014 el estudiante Gabriel Ángel González de la Universidad Antonio Nariño realizó un estudio de mejoramiento para uno de los equipos en el Banco; dicho estudio consiste en el diseño de un sistema de aire acondicionado alterno para suministro de agua helada al edificio.

Todo proyecto de ingeniería tiene como finalidad fundamental el reducir los costos económicos por operación de los equipos, y esto se consigue mediante la optimización de los mismos, sin embargo, que un equipo funcione bien no quiere decir que los costos se van a reducir, para esto es importante también evaluar otros factores como la eficiencia energética.

De acuerdo al trabajo de Gabriel Ángel:

“Los consumos energéticos más elevados de los edificios se producen en los sistemas de generación de frío o calefacción, iluminación y equipos electromecánicos. Es posible reducir el consumo energético con mejora en la eficiencia energética de los sistemas de frío, buscando reducir el consumo en horas no hábiles o con equipos más eficientes para la carga requerida”. (González, 2014, p.13).

El presente trabajo tiene la finalidad de evaluar el gasto energético que se genera en algunos equipos electromecánicos, una de las áreas que de acuerdo al estudio realizado por Gabriel González presenta los mayores gastos en energía eléctrica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

1.3 OBJETIVOS

General

Proponer un conjunto de actividades de ahorro energético integrado, para bombas centrifugas y máquinas dispensadoras de agua y café, para reducir el consumo eléctrico y mantener la calificación del edificio con la certificación Leed Gold.

Específicos

- Profundizar en el estudio de las bombas centrifugas y las máquinas dispensadoras de agua y café para mejorar su eficiencia y desgaste de sus componentes electromecánicos.
- Proponer la implementación de dispositivos electromecánicos que permitan controlar la velocidad de las bombas centrifugas y evitar los altos picos de corriente cuando se energicen, de acuerdo con el requerimiento de agua potable de los tanques a abastecer.
- Integrar las máquinas dispensadoras de agua y café a un sistema de interruptores automáticos controlados por el software PowerLink.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

1.4 Organización del trabajo

En el marco teórico se desarrollan todos aquellos conceptos fundamentales que integran a cada uno de los elementos objeto de investigación: Bombas centrífugas, motores eléctricos y máquinas dispensadoras de café y agua; partiendo desde sus principios de funcionamiento, variables de operación, problemas comunes de mantenimiento, tendencias actuales de fabricación y las distintas normas técnicas nacionales que se encargan de regular su correcta instalación.

En la auditoría energética se describen los elementos fundamentales para su realización, pasos para realizarla, tendencias actuales, resultados obtenidos a partir de las mediciones de consumo eléctrico y finalmente los pasos que se deben seguir en el diseño de ahorro energético.

En la metodología se condensa la información relacionada el estudio realizado, los parámetros utilizados, cálculos y los recursos tecnológicos empleados para la medición y toma de datos para el posterior análisis comparativo. Se comienza describiendo las características técnicas de cada una de las secciones evaluadas, diagramas de conexiones, condiciones de funcionamiento actual, cálculos de consumo eléctrico, programación para la automatización de las bombas centrífugas y el control de las máquinas dispensadoras de café y agua por medio del software y tablero eléctrico inteligente PowerLink.

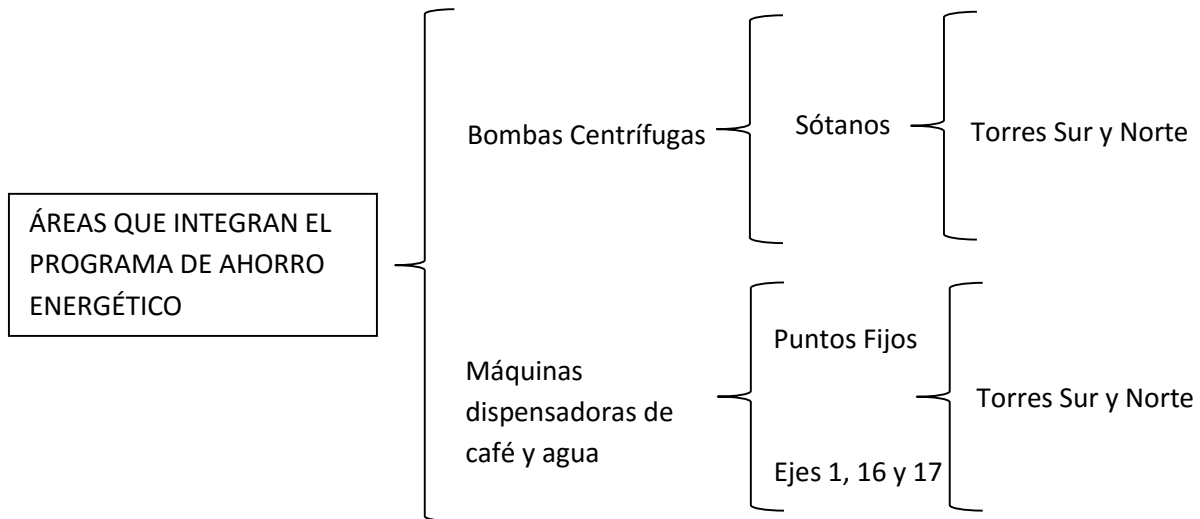
En análisis de resultados se describen los desenlaces obtenidos a partir de los datos de consumo eléctrico tomados durante las condiciones actuales de funcionamiento de las máquinas correspondientes a las dos secciones y las discusiones económicas frente a la propuesta que se evaluó en capítulos anteriores.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Finalmente, en las conclusiones se estiman las opciones y ventajas que presenta el Banco de implementar el nuevo diseño y las recomendaciones necesarias para ejecutarlo.

El trabajo está dividido en dos secciones que pertenecen a las dos áreas principales en donde se ha realizado el estudio de diseño de ahorro energético. La primera sección corresponde a las bombas centrífugas localizadas en los dos sótanos de las torres sur y norte (ver figura 2), mientras que la segunda parte está destinada a las máquinas dispensadoras de café y agua (Puntos fijos y Ejes 1,16 y 17 de torre sur y norte), (ver Figura 1).

En el siguiente cuadro sinóptico se presentan las secciones que integran al proyecto:



Cuadro 1. Zonas de intervención en el edificio. Fuente: Elaboración propia

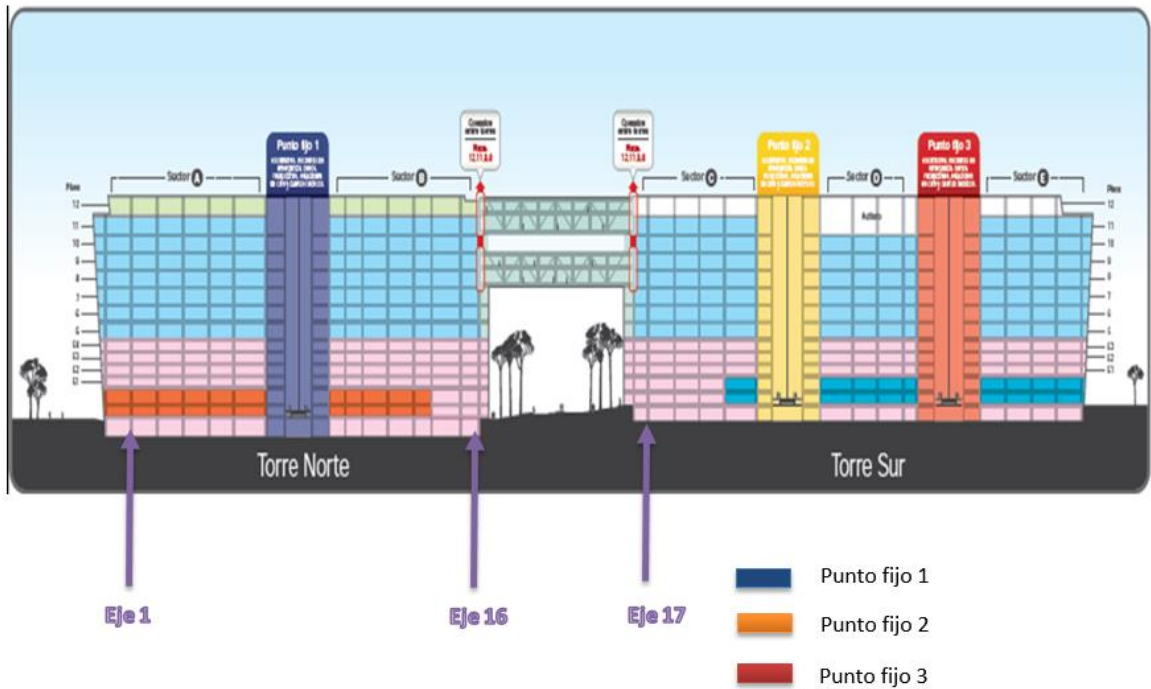


Figura 1. Distribución de las máquinas dispensadoras en Bancolombia. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Bombas Centrífugas, sótanos Torres Norte y Sur. Fuente: Elaboración propia.

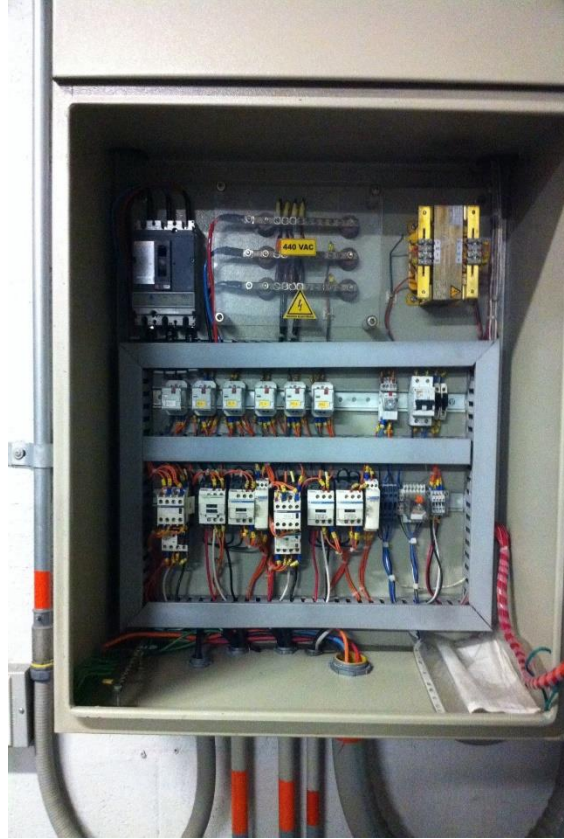


Figura 3. Tablero de control y potencia de las Bombas centrífugas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Máquina dispensadora de café. Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Máquina dispensadora de agua. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Para las máquinas dispensadoras de café y agua se cuentan con tres puntos fijos.



Figura 6. Punto fijo 1, en Torre Norte. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Punto fijo 2, en Torre sur. Fuente: Elaboración propia.


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 8. Punto fijo 3, en Torre sur. Fuente: Elaboración propia.

Para los ejes en las torres sur y norte se dispone igualmente de máquinas dispensadoras en los ejes 1, 16 y 17.



Figura 9. Eje 1, en Torre Norte. Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Eje 16, en Torre Norte. Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Eje 17, en Torre sur. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

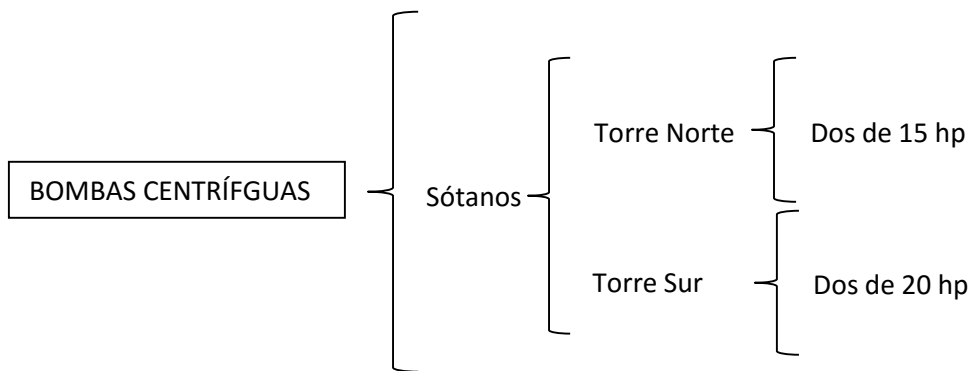
2. MARCO TEÓRICO

2.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS

2.1.1 Principio de funcionamiento

También conocidas como bombas rotodinámicas. Se clasifican dentro de las máquinas denominadas motores, puesto que convierten la energía eléctrica en mecánica (movimiento mecánico), generalmente en un movimiento circular de su eje. La bomba centrífuga es la máquina más utilizada para bombear líquidos. El principio de funcionamiento de una bomba centrífuga consiste en que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de compresión de un fluido incompresible, generalmente agua.

El cuadro 1 presenta la distribución por potencia de las bombas centrífugas en el edificio.



Cuadro 2. Distribución por potencia de las bombas centrífugas en el edificio. Fuente:

Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.2 Variables de Operación

La energía que consume una bomba centrífuga va en función de:

- La presión necesaria para descargar el fluido
- La altura que tiene que recorrer el fluido
- La rapidez del fluido
- Propiedades físicas del fluido
- Dimensiones de la tubería (diámetro, longitud, rugosidad)

2.1.2.1 Presión

Es la fuerza que ejerce una columna de líquido o gas sobre un área específica, por ejemplo, la que ejerce la atmósfera sobre cualquier punto de la tierra. En el sistema internacional (SI), la unidad de medida para la presión es el Pascal (Pa). 1 Pa equivale a $1\left(\frac{N}{m^2}\right)$ mientras que en el sistema inglés es el

psi (*pounds-force per square inch*), que es una libra fuerza por pulgada cuadrada. $\left(\frac{lbf}{pulg^2}\right)$.

2.1.2.2 Presión dinámica

Es la presión medida contra el flujo del fluido. También llamada presión de estancamiento.

2.1.2.3 Presión estática

Presión medida en la pared del tubo que conduce un fluido, ya sea agua o aire.

2.1.2.4 Presión de flujo

Es la presión dinámica cuando un fluido está circulando.

Presión de caudal = presión dinámica – caída de presión

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.2.5 Presión de la bomba

Es la presión que se genera en servicio por el lado de impulsión de la bomba centrífuga.

2.1.2.6 Altura de recorrido del fluido

Se tiene una altura máxima teórica de aspiración de 10.33 m y depende de la presión atmosférica; aunque por motivos técnicos se logra solo una altura máxima de aspiración de 7 a 8 m. Para el dimensionamiento de la bomba se debe considerar que la altura de aspiración h_s debe tomarse con un signo negativo en la altura de presión.

2.1.3 Curvas de Funcionamiento

Una de las bases teóricas para evaluar las medidas de ahorro de energía de una bomba centrífuga es conociendo su curva característica y la curva de operación del sistema.

2.1.3.1 Curva característica de la Bomba

Teniendo los datos de placa de la bomba centrífuga dados por el fabricante se obtiene su curva característica; dicha curva relaciona las variables que intervienen en su funcionamiento.

Los datos que se incluyen generalmente en las curvas características de las bombas e independiente del fabricante son:

- Curva de NPSH (*Net Positive Suction Head*) contra caudal
- Carga contra caudal
- Eficiencia contra caudal
- Potencia contra caudal

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Dado el caso en que no se tenga la información técnica de la bomba, se puede tomar como referencia otro tipo de bomba con características similares.

En síntesis, la curva característica de una bomba indica gráficamente la dependencia entre estas variables como caudal y altura, rendimiento, potencia absorbida, entre otros (Ver Figura 12).

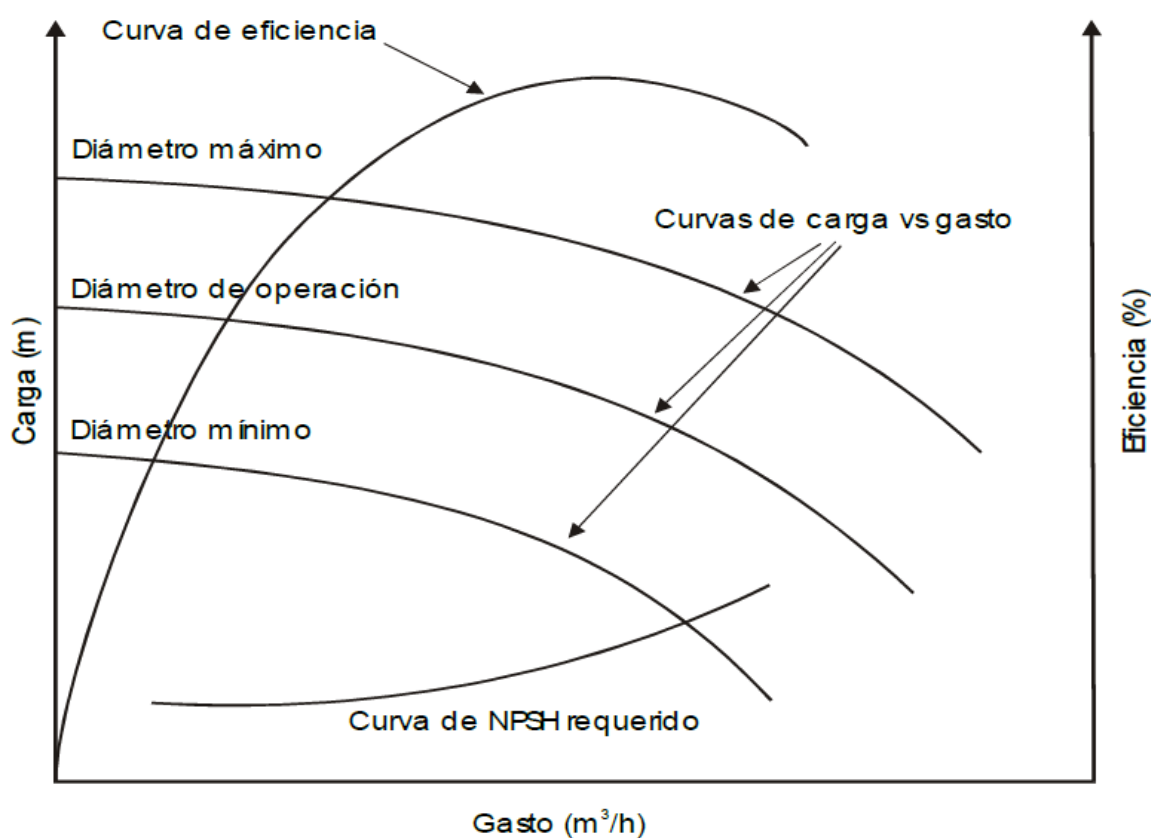


Figura 12. Grupo de gestión eficiente de energía, Universidad del Atlántico. (2009). Curva característica típica de una bomba centrífuga. Recuperado de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/bombas.pdf> (noviembre de 2015)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.3.2 Curva de operación del sistema

Se determina mediante la carga estática total y las pérdidas de presión en el trabajo de bombeo.

2.1.3.3 Carga estática total

Se calcula conociendo la altura del nivel del líquido entre los puntos de succión y de descarga, y la línea de los centros de la bomba, conociendo además las presiones en esos mismos puntos (Ver ecuación 1).

$$H_{ET} = H_D - H_S + \frac{P_D - P_S}{\gamma} \quad (1)$$

Donde:

H_{ET} : Carga estática total

H_D : Altura de descarga

H_S : Altura de succión

P_D : Presión en el recipiente de descargar

P_S : Presión en el recipiente de succión

γ : Peso específico del fluido

2.1.3.4 Carga dinámica total

Un proyecto de investigación realizado por Colciencias referente al ahorro energético en bombas centrífugas, define la carga dinámica total de la siguiente manera:

“La carga dinámica total representa las pérdidas de presión, las cuales se originan por la fricción del fluido en las tuberías, válvulas, accesorios y otros componentes como pueden ser intercambiadores de calor u otros. Estas pérdidas varían proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad del caudal. También varían de acuerdo con el tamaño, tipo y condiciones de las superficies de tubos y accesorios y las características del líquido bombeado”. (Universidad del Atlántico, 2014, p.6).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.4 Problemas comunes de mantenimiento

Las bombas centrífugas constantemente presentan diversas fallas y problemas en su operación, que hacen que su funcionamiento no sea correcto y se requiera mantenimiento, con el fin de evitar las pérdidas en la producción, y demás pérdidas como económicas y de tiempo y de esta manera aumentar la disponibilidad del equipo.

En el trabajo de investigación del ingeniero electrónico Anderson Paulino Barboza de la Universidad Católica del Perú, divulgado como Sistema de detección de fallas para una bomba centrífuga, encontramos que las fallas más comunes que se presentan en esta clase de equipos son (Barboza, 2013).

2.1.4.1 Desbalanceo

Este tipo de falla, es la más común que se encuentra en las bombas. Se dice que una pieza se encuentra desbalanceada cuando su centro de masa (centro de gravedad) no coincide con su centro geométrico. Esto se debe a que existe una distribución desigual del peso de la bomba, correspondiente a su centro geométrico. (Barboza, 2013, p. 10).

2.1.4.2 Desalineamiento o problemas del eje

Este tipo de falla, también suele ocurrir con frecuencia en la bomba centrífuga, debido al problema que supone alinear los dos ejes y sus rodamientos tanto de la bomba, como la del motor. Existen tres tipos de desalineamiento: el paralelo, angular y una combinación que pueda existir entre las dos. Además, puede existir un desalineamiento producto de desgaste de la tapa o porta rodaje del motor, con lo cual el eje del motor ya no está alineado. (Barboza, 2013, p. 10).

2.1.4.3 Falla eléctrica

Este tipo de fallas suelen ocurrir debido a arranques frecuentes del motor, ventilación insuficiente y roturas de barras debido a la fatiga, siendo el rotor la parte del motor que más tiende a sufrir fallas (Ver Figura 13). (Barboza, 2013, p. 10).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 13. Rotor quemado. Recuperado de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4783/BARBOZA ANDE RSON SISTEMA FALLAS BOMBA CENTRIFUGA.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4783/BARBOZA_ANDE_RSON_SISTEMA_FALLAS_BOMBA_CENTRIFUGA.pdf?sequence=1)

2.1.4.4 Rodamientos

Los rodamientos son componentes importantes dentro de una bomba, los cuales pueden malograrse debido a la contaminación, humedad, haga un esfuerzo mayor debido, a que haya un desbalance o desalineamiento en la bomba, que no se haya dado la lubricación adecuada durante su mantenimiento, entre otros. (Ver Figura 14) (Barboza, 2013, p. 11).



Figura 14. Rodamiento dañado. Recuperado de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4783/BARBOZA ANDE RSON SISTEMA FALLAS BOMBA CENTRIFUGA.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4783/BARBOZA_ANDE_RSON_SISTEMA_FALLAS_BOMBA_CENTRIFUGA.pdf?sequence=1)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.4.5 Cavitación

La cavitación es el tipo de falla que consiste en la formación de burbujas de vapor que viajan a través del fluido hasta encontrar una región cuya presión es superior a la presión del vapor, donde colapsan e implosionan. Las burbujas se forman y se rompen muchas veces por segundo, esto genera ruido y vibraciones en la bomba. Esto podría causar grandes daños a partes de la bomba, como el rodete (Ver Figura 15). (Barboza, 2013, p. 12).



Figura 15. Impulsor dañado. Recuperado de

[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4783/BARBOZA ANDERSON SISTEMA FALLAS BOMBA CENTRIFUGA.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4783/BARBOZA_ANDERSON_SISTEMA_FALLAS_BOMBA_CENTRIFUGA.pdf?sequence=1)

2.1.4.6 Sellos mecánicos

Por otra parte, las bombas centrifugas presentan otros defectos comunes los cuales se ubican en los sellos. Las fallas en los sellos mecánicos pueden producir costos altos de mantenimiento y pérdidas de producción evaluadas en miles de millones de pesos.

Los problemas en los sellos suelen suceder por errores en la instalación; problemas por el diseño básico del sello mecánico y por la contaminación anormal del líquido. A continuación, se señalan las causas más comunes por las que fallan los sellos mecánicos y establecidas por Cadena (2011).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.4.7 Manipulación inapropiada de los componentes del sello

Este problema es una de las principales fallas prematuras en las bombas centrífugas. Las caras del sello primario están hechas con materiales de cerámica, carburo de tungsteno y carburo de silicio; Dichos materiales son frágiles y fácilmente astillan, agrietan, quiebran o rayan y producen como consecuencia una falla inmediata. Además, la limpieza es un punto importante, pues la suciedad o las partículas extrañas en las caras o en los ejes causan daños suficientes que acortan la vida del sello. (Cadena, 2011, p. 64).

2.1.4.8 Montaje incorrecto del sello

La posición a la altura de trabajo del sello es imprescindible, la altura de trabajo mal dada causa una fuerza de cierre muy baja provocando una falla de contacto entre ellas, o cuando la altura es menos a la especificada provocará una carga mayor que ocasiona una fractura en los componentes del sello o un desgaste prematuro a causa del aumento de la fuerza de cierre en las caras. (p. 65).

2.1.4.9 Selección impropia del sello

La selección de materiales o diseños no apropiados, para las presiones, temperaturas, velocidad angular y productos químicos es fundamental en una aplicación dada. El ataque químico al sellado primario o secundario y el excesivo desgaste de las caras son la causa de falla más frecuente. (Cadena, 2011, p. 65).

2.1.4.10 Procedimientos inapropiados de arranque y de operación

El arranque de la bomba con la succión de la bomba cerrada, reduce en gran medida el enfriamiento del sello y provoca que el sello gire en seco, como consecuencia de esto se requiere un equipo adicional. Los fluidos que tienen un bajo punto de ebullición o un alto punto de fusión requerirán entonces, un enfriamiento auxiliar o calentamiento, respectivamente antes y durante la operación del sello, con el fin de evitar problemas en el funcionamiento de la bomba. (Cadena, 2011, p. 65).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.4.11 Contaminantes dentro del fluido

Es común que las bombas centrífugas que se encuentran en nuevas plantas o sistemas, presenten contaminación en el fluido con materiales de construcción, tales como arena, escorias de soldadura o productos contaminantes corrosivos en general; esta contaminación termina generando una falla inicial en los sellos (Cadena, 2011, p. 65).

2.1.4.12 Malas condiciones del equipo

Cuando el eje, los rodamientos o las chumaceras del eje permiten un movimiento axial o radial superior al permitido según el diseño del sello, se termina provocando un funcionamiento anormal que permite la fuga inmediata o acorta vida del sello. (Cadena, 2011, p. 66)

2.1.5 Tendencias actuales de fabricación

Para comenzar, la revista *World Pumps* (<http://www.worldpumps.com/>) define la bomba como una máquina que consume energía para aumentar la presión de un fluido, y a su vez hacer que este se mueva de un punto a otro. Una bomba centrífuga imparte energía al fluido por medio de la fuerza centrífuga que se produce por el sistema de rotación del rotor. La bomba se constituye como una de las más antiguas máquinas conocidas por la humanidad, pues esta ha tenido varias utilidades en la industria.

Actualmente, según la revista *World Pumps*, las técnicas de especificación, fabricación, operación y mantenimiento de las bombas centrífugas ha adquirido mayor importancia y se han ido perfeccionando con el objetivo de adquirir mayor eficiencia y fiabilidad; pues se ha evidenciado que las decisiones y acciones que se adopten durante la fabricación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de la bomba pueden afectar dicha fiabilidad. La gestión de fiabilidad de una bomba centrífuga en el proceso industrial puede dividirse en tres fases:

- Selección y montaje previo para el aseguramiento de la fiabilidad de la bomba.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Preparación para la puesta en marcha de la bomba.
- Post garantía de fiabilidad de puesta en marcha.

En la fabricación y operación de bombas centrífugas más confiables se señala diversos conceptos los cuales son clave al momento de diseñar una bomba centrífuga.

2.1.5.1 Selección de la Bomba

El rendimiento satisfactorio y los largos periodos entre fallos por lo general, se pueden lograr mientras las bombas centrífugas operan de acuerdo a las condiciones de diseño. Cabe señalar que el concepto “diseño” en este sentido no se refiere solo al caudal, presión o temperatura, sino también a la fuerza de acoplamiento, la lubricación de los rodamientos y las demás consideraciones mecánicas. Por esto las bombas deben ser seleccionadas para la operación teniendo en cuenta su mejor punto de eficiencia (BEP). Si el flujo normal se desvía de su mejor punto de eficiencia (BEP), se producirá una recirculación interna y esto hará que la bomba se desestabilice. Idealmente, las bombas deben ser seleccionadas con un aspirador de velocidad específica de aproximadamente 8500 (Ver Figura 16).

2.1.5.2 Diseño de la caja de relleno

En su mayoría, los sistemas de bombeo requieren que el sello mecánico se mantenga a una temperatura moderada a medio ambiente. Una de las opciones para conseguir una moderada temperatura es el relleno de refrigeración, este resulta un diseño de gran calidad desde el punto de vista de la refrigeración eficaz que puede ser utilizado en los sistemas de bombeo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 16. Correcta instalación de bombas centrífugas. Recuperado de <http://188.165.118.17:2063/science/article/pii/S0262176209702196>

Por lo general, el juego radial entre los sellos del diámetro exterior y la caja tienen gamas entre los 1,5 a 0,75 mm. Este diseño permite eliminar el calor inadecuado en los sellos, la vulnerabilidad de los sellos al daño de elementos abrasivos, entre otros. Por lo tanto, al momento de comprar nuevas bombas, la clave para reducir las temperaturas de funcionamiento es rodear las caras del sello con una garganta abierta en el extremo impulsor; el objetivo principal de este diseño es proporcionar una cámara de sello que permite sellar las caras para que la bomba se pueda ejecutar más fresca y con mejor lubricación.

2.1.5.3 Fuerzas de la boquilla

Cuando las tuberías están atornilladas a la brida de la caja de la bomba, las fuerzas externas tales como el peso de la tubería, la expansión térmica y el peso del fluido comienza a actuar en la bomba. Estas fuerzas pueden distorsionar la carcasa y terminar desalineando la bomba, roces entre la carcasa, el impulsor y el eje, e incluso movimientos alrededor de la bomba que pueden desajustar el controlador del eje, lo que a su vez puede causar el fallo prematuro en el acoplamiento, rodamientos o cierres mecánicos. Por lo tanto, en el diseño de la bomba es muy importante fijar límites para las fuerzas de las boquillas, de esta manera

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

los diseñadores configuran la canalización de acuerdo a los valores máximos que una tubería puede imponer a una bomba.

2.1.5.4 Selección del sello

La selección del sistema ambiental del sello para las bombas es muy compleja. Las unidades del sello del cartucho ofrecen ventajas de mantenimiento, ya que están diseñadas para una rápida instalación y retiro del eje de la bomba, y pueden ser sustituidos fácilmente con menos riesgos de error. Sin embargo, cuando se considera la selección del sello frente al material resistente al calor generado por la cara del sello, el carburo de silicio es el material preferido por su alta conductividad térmica y dureza.

2.1.5.5 Almacenaje

Después de que la bomba ya está correctamente diseñada, es muy importante que las bombas se almacenen con lonas impermeables y es muy importante proteger los portes y enganche del eje de polvo y suciedad.

2.1.5.6 Ubicación de la Bomba

La correcta ubicación de la bomba es muy importante desde los puntos de operación y mantenimiento. Para garantizar una buena condición e fluido se debe colocar la bomba lo más cerca posible de su fuente de líquido, además se debe dejar suficiente espacio alrededor de la bomba para la inspección y el mantenimiento. Evitar los lugares donde la suciedad o humedad puede ser excesiva.



Figura 17. Correcta ubicación de bombas centrífugas. Recuperado de <http://188.165.118.17:2063/science/article/pii/S0262176209702196>

2.1.5.7 Instalación de la Bomba

Uno de los factores más importantes en el éxito de las operaciones y el mantenimiento de todas las clases y tipos de bombas es una correcta instalación. La correcta instalación de la bomba permite la su alineación durante largos periodos, desarrollar menos fugas, y la carcasa y la brida vibran menos.

2.1.5.8 Conexión de tubería

La confiabilidad la bomba puede ser afectada en gran medida por el estrés y la carga impuesta por la conexión en el sistema de tuberías, las cargas de expansión de un tubo pueden causar desalineación del eje, así como deformaciones en la carcasa, interfiriendo con las piezas móviles internas. Por lo tanto, es importante que el diseño en el sistema de tuberías imponga el menos estrés como sea posible (Ver Figura 18).



Figura 18. Correcta conexión en el sistema de tuberías. Recuperado de <http://188.165.118.17:2063/science/article/pii/S0262176209702196>

2.1.5.9 Control de la presión de relleno

Controlar la presión del relleno es una forma que permite además controlar la temperatura y extremadamente importante en muchas aplicaciones del sello. Se puede aumentar la presión del relleno para evitar que el líquido se vaporice en la caja o a través de las caras del sello. Si el líquido se vaporiza a través de las caras del sello, se pueden abrir las caras y posiblemente causar daños.

2.1.5.10 Confiabilidad de rodamientos

Todas las bombas centrífugas y los motores tienen cojinetes instalados con el anillo interior. En su mayoría, los rodamientos fallan por dos razones; ya sea a través de la contaminación del aceite del cojinete por el agua u otro líquido o sólido en las partículas; o demasiada lubricación. Una contaminación de 0.002% del agua en el aceite del cojinete reducirá la vida útil en un 48% de la bomba. Por esto en el diseño y proceso de la bomba centrífuga varias empresas utilizan diversos métodos para mantener el agua fuera de la caja de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

cojinete, como lo es un anillo de goma para desviar el embalaje o sellar la fuga de rodamiento. (World pumps, 2009)

2.1.5.11 Mantenimiento

Cuando la bomba centrífuga se ha puesto en marcha, el post mantenimiento se divide en dos categorías; mantenimiento preventivo rutinario y revisión o reparación. El mantenimiento de rutina se realiza principalmente para rectificar los efectos de desgaste en la bomba. La revisión o reparación se lleva a cabo para rectificar los resultados del desgaste excesivo o los daños causados por solidos o líquidos o la erosión.

Por otra parte, *World Pumps*, (2009) en su artículo “fabricación de bombas centrífugas más confiables”, destaca algunos puntos claves para tener en cuenta al momento de diseñar una bomba centrífuga teniendo en cuenta técnicas y tendencias actuales de fabricación y fiabilidad.

2.1.5.12 Puntos clave para el diseño

- Debe haber al menos 10 diámetros de tubería entre la succión de la bomba y el primer codo. Esto es especialmente crítico en los diseños de la bomba de conectores, ya que puede causar el flujo turbulento de entrada eje de empuje y posteriores problemas en cojinetes.
- Asegure que los reductores excéntricos no sean instalados al revés en la succión de la bomba, La parte superior del reductor debe ser recta en la brida de succión.
- Es bueno aumentar el tamaño de la succión y descarga de los tubos de la boquilla de la bomba para disminuir la pérdida de carga por fricción de la tubería.
- La tubería de succión debe ser por lo menos una talla más grande que la brida de succión. (World Pumps, 2009)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.6 Norma Técnica Colombiana NTC 4704-3

La NTC 4704-3 fue aprobada por el Consejo Directivo de 1999-11-24. Esta norma determina las especificaciones técnicas para bombas centrífugas clase III.

De acuerdo al Objeto de la norma contenido en el literal 1 se especifica:

1.1 Esta norma cubre los requisitos para bombas centrífugas clase III de una etapa, múltiples etapas, de construcción horizontal o vertical (motobomba o conjunto de bomba y motor), con cualquier mecanismo de accionamiento y en cualquier instalación para aplicación general.

1.2 Esta norma incluye características de diseño concernientes con la instalación, mantenimiento y seguridad de tales bombas, incluyendo la base, acople y tubería auxiliar, pero excluyendo el accionamiento, si este no es parte integral de la bomba.

1.3 Cuando la aplicación de esta norma ha sido exigida:

a) y se requiere un diseño específico; se pueden ofrecer diseños alternativos que cumplan lo previsto en esta norma, siempre que la alternativa se describa en detalle.

b) las bombas que no cumplen todos los requisitos de esta norma pueden ser ofrecidas para consideración, poniendo de presente todas las desviaciones. (NTC 4704-3, 1999, p.2).

Para el presente proyecto se repasarán que efectivamente el sistema de bombeo presente en el edificio cumpla con los requerimientos de seguridad y funcionamiento previstos en la presente norma.

2.2 MOTORES ELÉCTRICOS

2.2.1 Principio de funcionamiento

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas las cuales transforman la energía eléctrica que absorben por sus bornes, en energía mecánica. El medio de esta transformación de energía en los motores eléctricos, es el campo magnético (Ver Figuras 19 y 20).



Figura 19. Motor eléctrico. Recuperado de: Castillo & González, (2010).

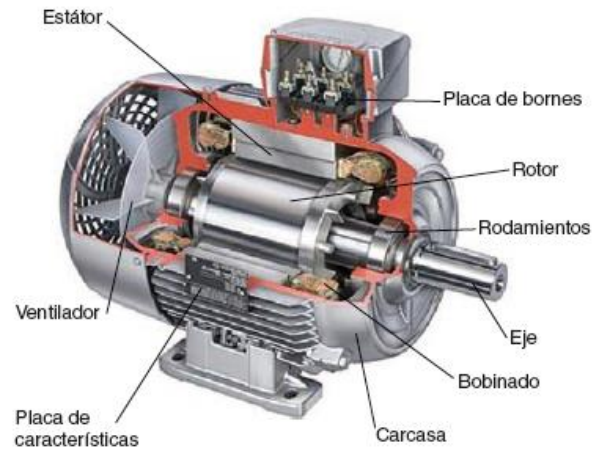


Figura 20. Partes de un motor eléctrico. (Castillo & González, 2010)

Existen diversos tipos de motores eléctricos y cada tipo posee distintos componentes cuya estructura determina la interacción de los flujos eléctricos y magnéticos que originan la fuerza o par de torsión del motor. Teniendo en cuenta el tipo de corriente utilizado para su alimentación, Castillo & González, (2010), afirman que los motores eléctricos se clasifican en:

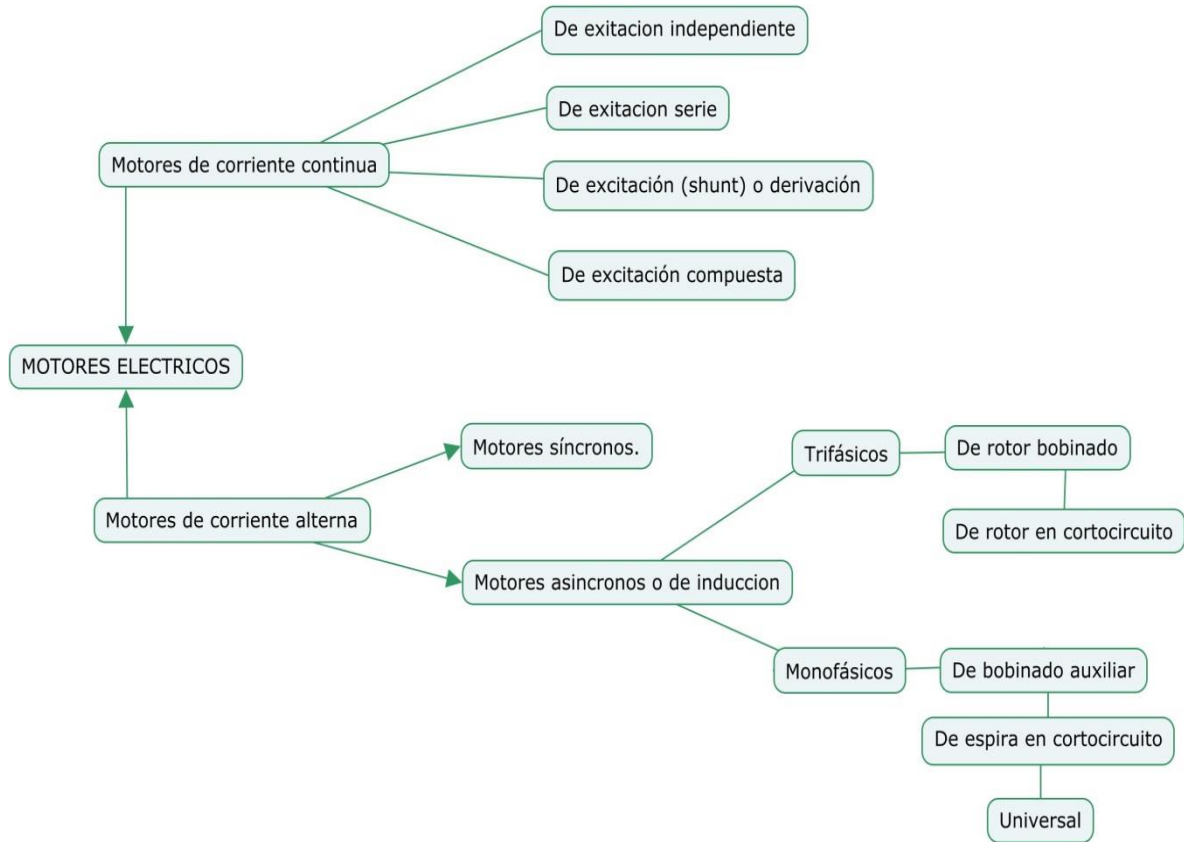


Figura 21. Clasificación de los motores eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

Para el Grupo WEG – Unidad Motores, 2010, los tipos de motores eléctricos más comunes y sus principales características de funcionamiento son:

2.2.1.1 Motores de corriente continúa

Son motores de costo más elevado y, además de eso, precisan una fuente de corriente continua, o un dispositivo que convierta la corriente alterna común en continua. Pueden funcionar con velocidad ajustable, entre amplios límites y se prestan a controles de gran flexibilidad y precisión. Por eso, su uso es restricto a casos especiales en que estas exigencias compensan el costo mucho más alto de la instalación y del mantenimiento. (Grupo WEG – Unidad Motores, 2010, p. 6).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2.1.2 Motores de corriente alterna

La distribución de energía eléctrica de los motores de corriente alterna, es hecha normalmente en corriente alterna. Los principales tipos son:

- **MOTOR SINCRONO:** Funciona con velocidad fija, o sea, sin interferencia del deslizamiento; Utilizado normalmente para grandes potencias debido a su alto costo en tamaños menores.
- **MOTOR DE INDUCCION:** Funciona normalmente con una velocidad constante, que varía ligeramente con la carga mecánica aplicada al eje. Poseen una gran simplicidad, robustez y bajo costo. Es adecuado para casi todos los tipos de máquinas accionadas, encontradas en la práctica. Actualmente es posible el control de la velocidad de los motores de inducción con ayuda de convertidores de frecuencia. (Grupo WEG – Unidad Motores, 2010, p. 6).

Es importante destacar que todos los motores de corriente continua, así como los síncronos de corriente alterna, que fueron incluidos en la clasificación presentada, tienen una utilización y unas aplicaciones muy específicas.

Por el contrario, los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada ya que combina las ventajas de la utilización de energía eléctrica – bajo costo, facilidad de transporte, limpieza, facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajos costos en su fabricación.

2.2.1.2 Arranque Estrella-Delta

Es el método más utilizado para el arranque de motores trifásicos a nivel industrial. Tiene como objetivo reducir la corriente de arranque del motor el cual puede alcanzar hasta 7 veces la corriente nominal del motor. Con el arrancador Estrella-Delta se puede amortiguar esta sobre intensidad producida en el arranque y consiste en conectar los devanados del

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

motor en Estrella y luego en Delta. La transición de estrella a delta se realiza de forma automática a través de un temporizador.

2.2.2 Variables de operación

En términos generales, son muchas las variables que influyen en el funcionamiento de un motor eléctrico, las cuales vienen dadas desde los principios electromagnéticos que lo rigen hasta su constitución física. Para este caso, y dado que la intención de este estudio de ahorro energético no plantea profundizar mucho en el funcionamiento de los motores eléctricos como campo aparte, sino más bien como un todo integral del sistema de bombeo, se analizará solo los fundamentos esenciales que permiten que el motor entre en operación.

2.2.2.1 La carga

Es la que determina la potencia y velocidad del motor. En muchas de las aplicaciones industriales, el motor de jaula de ardilla puede soportar cualquier carga en su eje, sin embargo, es necesario determinar cuál será el momento de inercia, la curva par-velocidad de la carga. Esto nos permite determinar cómo será el comportamiento dinámico del motor y cuáles serán los tiempos de arranque. Las bombas y ventiladores poseen un comportamiento específico diferente de otros tipos de máquinas como trituradoras y molinos, por lo que sus torques de arranque son diferentes.

2.2.2.2 La red

Toda máquina eléctrica, sea industrial o doméstica, requiere de una red de alimentación, y las principales características de esta son el voltaje (tensión) y frecuencia. Para Colombia y gran parte de América la tensión normalizada es de 60 Hz, mientras que para Europa es de 50 Hz. Debido a la gran diversidad de aplicaciones industriales no existe una única tensión, por lo que es común encontrar motores que trabajen o tengan doble tensión, generalmente

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

de 220/440 V en industrias medianas, mientras que en las grandes se puede encontrar tensiones de 460 o 480 V. Para aquellos motores cuya potencia supere los 10 Hp se acostumbra aplicar un arranque Estrella-Triángulo con el objeto de que la red no se desestabilice por las altas corrientes consumidas durante el arranque. En este sentido, los motores estándar de nuestro país poseen doce cables de conexión, permitiendo que prácticamente funcionen en cualquier red, sin embargo, esto aumenta el riesgo de cometer errores.

2.2.2.3 El arranque

Debido a las características inherentes del motor jaula de ardilla, la corriente consumida durante el arranque puede estar entre 5 y 8 veces la corriente nominal, por esto, el arranque es uno de los momentos más críticos para el motor. El arranque es el periodo en el cual el motor hace la transición desde su estado de reposo hasta su velocidad nominal.

Para la red, el arranque ideal es aquel en el que el tiempo de transición es el menor posible y la corriente consumida es igualmente mínima. Para el motor, el arranque recomendado es el que garantice un menor calentamiento; y para la carga, el que garantice los menores desgastes mecánicos.

Existen 5 tipos diferentes de arranque para el motor:

- **Directo:** en el que el motor tiene una corriente de arranque normal, de hasta 6 u 8 veces la corriente nominal, e igualmente un par de arranque normal.
- **Estrella-Triángulo:** La corriente se reduce hasta una tercera parte de la nominal.
- **Por Autotransformador:** el autotransformador está diseñado para entregarle al motor un voltaje menor que la nominal. Este voltaje puede variar o estar entre 30 y 70% dependiendo de la aplicación.
- **Arranque electrónico suave:** se alimenta al motor con una tensión reducida y gradualmente se va subiendo el voltaje hasta la nominal. El comportamiento

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

inicial de la corriente es análogo al punto 3, sin embargo, el desenlace durante el periodo de transición depende de cómo se controle el arrancador suave.

- **Variador de velocidad, o variador de frecuencia:** con este método se consigue reducir la corriente hasta dos veces la nominal, mientras que se consigue un torque de arranque adecuado. De todos los tipos de arranque, el uso de variador de frecuencia permite que la transición sea la más suave posible, y mecánicamente, es la mejor forma de arrancar un motor, además que permite realizar un control de velocidad preciso, merced de los avances de la electrónica de control y potencia.

2.2.3 Problemas comunes de mantenimiento

Diferentes estudios actuales indican que cerca del 90% de los fallos en máquinas ocurren a causa del funcionamiento irregular de los componentes internos a causa del escaso o inoportuno mantenimiento, como es el caso del motor eléctrico principal. Actualmente existen sistemas de monitoreo de motores eléctricos los cuales suelen detectar una variedad de fallas en el motor, tales como: cortocircuitos en los bobinados del estator, daño en rodamientos, excentricidad y desbalanceo en el roto, ruptura de barras y anillos en el rotor, problemas de ventilación, entre otros.

En este sentido Hidalgo (2010), ha realizado diversas pruebas eléctricas que han sido aplicadas a un motor eléctrico con el fin de determinar las zonas o áreas de fallo más comunes de un motor eléctrico (Ver Figura 22), el análisis de estas zonas permite distinguir entre un problema mecánico o eléctrico; entre las cuales se destacan:

- Circuito de potencia
- Calidad de energía
- Aislamiento
- Estator
- Rotor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Excentricidad (entrehierro)

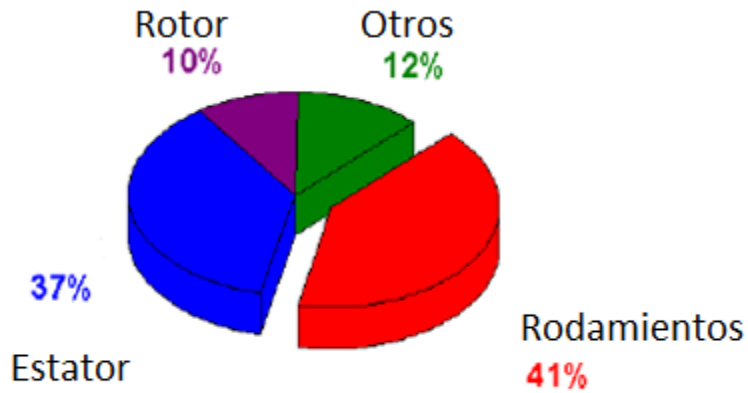


Figura 22. Estudio de fallas en motores eléctricos. (Hidalgo,2010)

2.2.3.1 Circuito de potencia

Generalmente el circuito de potencia de un motor eléctrico se compone de la caja de bornes, los conductores con sus bornes, interruptores, protecciones térmicas, fusibles, contactores y cuchillas. Uno de los principales problemas comunes que presentan los motores eléctricos son los falsos contactos, y esto implica que aunque en muchas veces el motor este en excelente estado, si se instala en un circuito de potencia defectuoso, se terminara dañando el motor (Ver Figura 23).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

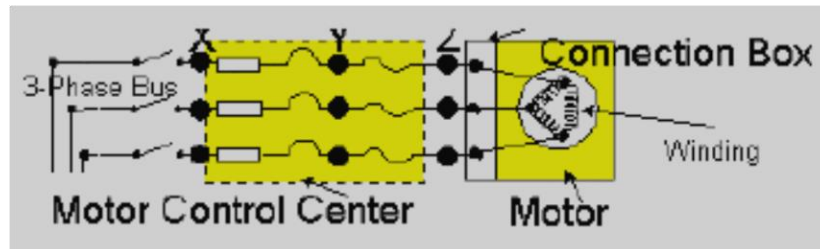


Figura 23. Circuito típico de potencia. (Hidalgo, 2010)

Los problemas de conexiones de alta resistencia (se oponen al paso de la corriente) son variados, entre ellos (Hidalgo, 2010) resalta:

- Generación de armónicos.
- Desbalances de voltaje.
- Desbalances de corriente.

Además, comúnmente las conexiones de alta resistencia son causadas por:

- Terminales corroídos
- Cables sueltos
- Barras sueltas
- Prensa fusibles corroídos
- Hilos abiertos
- Conexiones entre aluminio – cobre
- Diferentes tamaños de conductores

2.2.3.2 Calidad de energía

La calidad de la energía que alimenta el motor eléctrico resulta indispensable a la hora de analizar posibles problemas de mantenimiento en los motores. Existen varios factores que se involucran en la calidad de la energía, con relación a las fallas en motores eléctricos se destacan dos factores:

- **Desbalance de Voltaje**

Cuando los voltajes de línea aplicados a un motor no son equilibrados, se desarrollan corrientes desbalanceadas en los devanados del estator. Debido a esto se destacan dos efectos importantes, aumenta la temperatura en el devanado y aumenta su vibración. El aumento de la temperatura por encima de su valor recomendado provocaría daños al aislamiento, y el aumento en los niveles de vibración provocaría solturas mecánicas, rodamientos y aflojamiento de las bobinas. (Hidalgo, 2010, p. 4)

- **Armónicas**

El fenómeno de las armónicas que más afecta a los motores eléctricos es el exceso de calor que se produce por las demandas de corriente anormales. Un motor diseñado para consumir a plena carga 150 A., podría consumir hasta 180 A; este aumento de corriente podría no ser tolerado por el motor y provoca daños severos al aislamiento y posible colapso del mismo (Ver Figura 24).

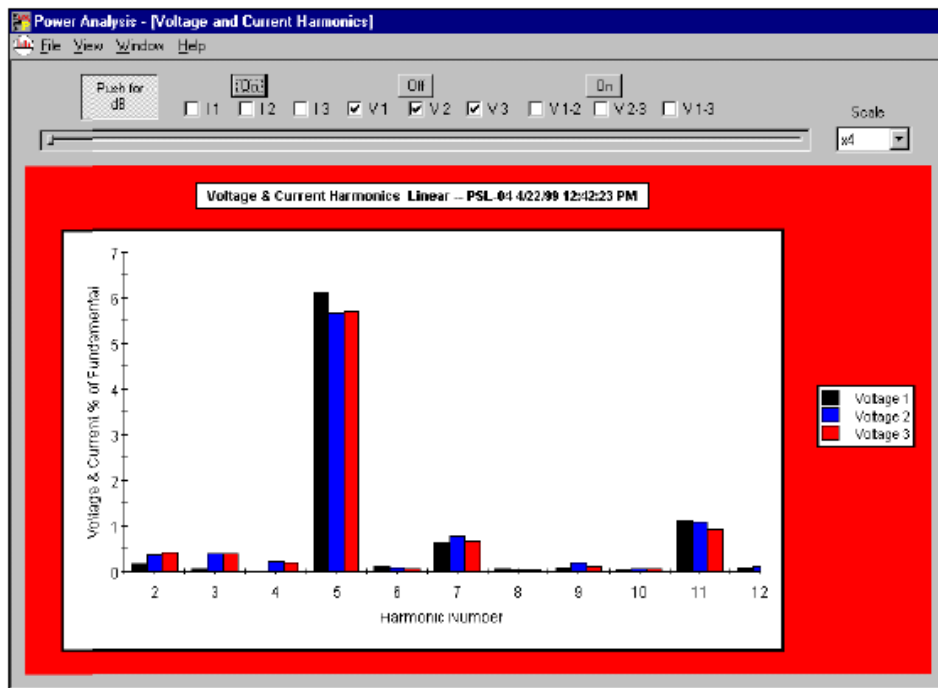


Figura 24. Medición de armónicos. (Hidalgo, 2010)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2.3.3 Aislamiento

La condición de aislamiento se conoce como la resistencia que existe entre este a tierra (RTG, en inglés). Cuando se da una falla a tierra, se debe a dos cosas: primero, porque se crea un camino de conducción a través del aislamiento, conforme este envejece se fisura y posibilita la acumulación de material conductor. Y segundo, la superficie exterior se contamina de material conductor y conduce suficiente corriente a la carcasa o núcleo del motor que está conectado a tierra, elevando así la temperatura máxima permitida del motor. Dichas temperaturas máximas son a las cuales el aislamiento podría colapsar.

2.2.3.4 Estator

En un estator es muy importante evaluar: los devanados, el aislamiento entre vueltas, juntas de soldado entre las espiras y el núcleo del estator. Generalmente la falla más frecuente que se presenta en un estator es un corto entre vueltas, esto puede llevar a reducir la habilidad de producir un campo magnético balanceado; esto a su vez, trae otras consecuencias como un aumento en la vibración del motor, a la vez que puede degradar el aislamiento y producir daños a los rodamientos de la máquina.

2.2.3.5 Rotor

Diversos estudios han demostrado que un 10% de las fallas en motores se debe al rotor, por esto resulta indispensable revisar las condiciones del rotor en cuanto a las barras, laminaciones y los anillos de corto circuito. Una barra rota genera un calor intenso en la zona de la ruptura y puede destruir el aislamiento cercano a las laminaciones o el devanado estático colapsará. (Hidalgo, 2010)

2.2.3.6 Excentricidad

El rotor de un motor/generador debe estar centrado, existe un claro entre estos denominado “*Air Gap*”, si este *Air Gap* no está bien distribuido en los 360° del motor, se producen campos magnéticos desiguales. Se ha discutido ampliamente el efecto adverso

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

que provocan estos campos magnéticos desiguales, que a la larga resultara en una falla en el aislamiento y problemas en los rodamientos, a este problema se le conoce como excentricidad (Hidalgo, 2010).

Existen dos tipos de excentricidad; por un lado, está la excentricidad estática en la cual el rotor esta descentrado pero fijo en un lugar, estos problemas son generalmente causados por el desalineamiento de los alojamientos de los roles (Ver Figura 25). (Hidalgo, 2010, p. 11)

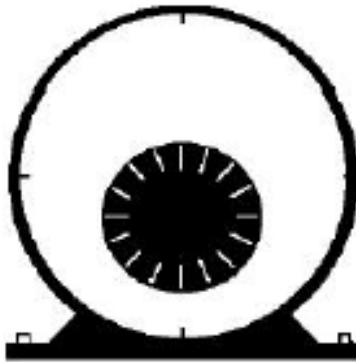


Figura 25. Excentricidad estática. (Hidalgo, 2010)

Por otro lado, la excentricidad dinámica se da cuando el rotor se balancea dentro del estator, por tanto, la inductancia varía. La excentricidad dinámica es producida por una deflexión en el eje generalmente (Ver Figura 26). (Hidalgo, 2010, p. 12)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

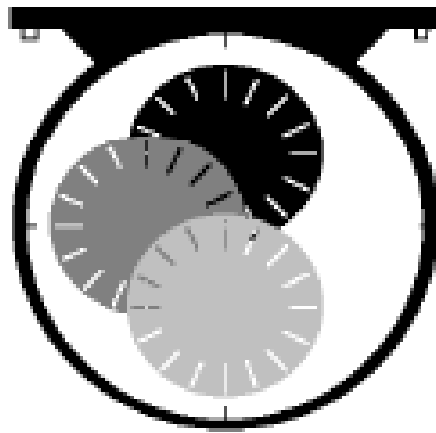


Figura 26. Excentricidad dinámica. (Hidalgo, 2010)

Con base en Hidalgo, (2010) es importante resaltar que, al momento de diagnosticar un problema en un motor eléctrico, se recomienda involucrar todas las zonas de falla mencionadas con anterioridad. Para ello deben utilizarse tanto tecnologías dinámicas como estáticas y estas deben ser de tipo no destructivas, para no acelerar el daño en el motor.

2.2.4 Tendencias actuales de fabricación

Los motores eléctricos de alta eficiencia vienen desarrollándose desde la década de los 70s. Los motores de alta eficiencia empezaron a ser fabricados a mediados de la década de los 70s inicialmente de Estados Unidos pero su aplicación se hizo masiva al llegar el 2000 también en otros países industrializados. Sin embargo, su aplicación indiscriminada puede ocasionar inconvenientes técnicos en los procesos productivos cuando no es evaluada correctamente. (Ciro y Mantilla, 2004).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Se estima que un 60% de la energía total generada en el mundo la consume los motores eléctricos; siendo los motores asíncronos de jaula de ardilla el tipo de motor más utilizado a nivel industrial.

El incremento en el costo de energía eléctrica ha llevado a los países industrializados a implementar políticas sobre el uso de la energía; por ejemplo, el aumento obligatorio de la eficiencia de estos motores. De acuerdo a un estudio realizado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América en 1990 se concluyó que para el año 2010, se podría ahorrar hasta 240 mil millones de kWh por año, sustituyendo motores de eficiencia estándar por otros que sean solo de 2 a 6% más eficientes. (Ciro y Mantilla, 2004)

Para los países menos industrializados estas políticas de uso eficiente de la energía aún se encuentran en proceso de mejoramiento debido a varias razones que involucra a los mismos compradores y el desconocimiento de algunos ingenieros y técnicos respecto a los motores de alta eficiencia.

2.2.4.1 Desarrollo de Motores de alta eficiencia

Hasta el año de 1960 el diseño electromagnético dirigido en conseguir una mejor eficiencia en los motores de inducción fue aceptable a pesar de que los materiales no tenían el alto desarrollo que los de ahora.

“El bajo costo de la energía eléctrica en aquella época hacía que la eficiencia no fuera un parámetro que incidiera en los costos de operación. Por eso durante el periodo de 1960 hasta 1975, los fabricantes cambiaron su tendencia y se centraron a diseñar motores para conseguir un costo mínimo, sobre todo en el rango de 1 a 250 hp. Con este objetivo se disminuyó la cantidad de material activo, y los materiales fueron seleccionados para cumplir mínimos requerimientos de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

eficiencia. En este contexto en 1977 NEMA recomendó marcar la placa de los motores trifásicos con una EFICIENCIA NOMINAL NEMA” (Ver Tabla 1). (Ciro y Mantilla, 2004).

Tabla 1

Eficiencia nominal para motores trifásicos diseño NEMA B. (Ciro y Mantilla, 2004).

HP	Rango de Eficiencia Nominal	Eficiencia Nominal Promedio
5	78 – 85	82
10	81 – 88	85
25	85 – 90	88
50	88 – 92	90
75	89.5 – 92.5	91
100	90 – 93	91.5
150	91 – 93.5	92.5
200	91.5 – 94	93
250	91.5 – 94.5	93.5

Debido a la crisis energética de los 70s se incrementó los costos de la energía eléctrica a una tasa de aproximadamente 12% anual. Desde entonces, el diseño de un motor eléctrico más eficiente fue el propósito de los fabricantes, haciendo uso de métodos que les permitiese conseguir motores mucho más eficientes que los exigidos por la Norma NEMA. Los motores eléctricos que vinieron luego, presentaban pérdidas de un 25% menos que el motor promedio tipo diseño NEMA B, y esta fue la primera generación de motores de alta eficiencia; permitiendo además que cada fabricante se apropiara de un estilo único de fabricación, mejorando sus diseños de acuerdo a los materiales y procesos de fabricación (Ver Tabla 2).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 2

Algunos fabricantes de motores eléctricos asíncronos. (Ciro y Mantilla, 2004).

Fabricante	Nombre del motor
General Electric	Energy Saver
Realince Electric Co	XE Energy Efficient
Baldor Electric Co	Super E
Magnetek/Louis Allis	Spartan High Efficiency
US Electrical Motors	Corro- DutyPremium Efficiency
Siemens	Premium Efficiency
Toshiba	Premium Efficiency

2.2.5 Control Automático

El control automático es una de las ramas de la Ingeniería que más trascendencia ha tomado en el control de un proceso industrial concreto. Gracias al control automático es posible mantener todas las variables que involucra un proceso en un estado determinado, por ejemplo, mantener la temperatura de un sistema de refrigeración, el nivel de líquido en un tanque, el rumbo de un avión o la velocidad de un motor en un valor fijo.

2.2.5.1 Variables del sistema

Son las señales que se pretenden controlar y definen el comportamiento del proceso (Temperatura, presión, nivel, velocidad, entre otros).

2.2.5.2 Entrada

En control automático se define como entrada a todas aquellas señales externas (pulsadores, sensores, entre otros) que una vez excitados, producen una señal de respuesta.

2.2.5.3 Salida

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Es la respuesta generada por la excitación de una entrada, como encender un motor, abrir o cerrar una válvula, entre otros.

2.2.5.4 Perturbación

Las perturbaciones son señales indeseables en un proceso de control automático y que influyen de forma adversa en la respuesta esperada.

2.2.5.5 Diagrama funcional

Un diagrama funcional o diagrama de bloques es la representación que relaciona las señales de entrada y de salida en un sistema de control.

Al proceso realizado en el sistema de control se le denomina elemento y este va representado por un rectángulo.

La interacción entre los bloques se simboliza por medio de flechas, las cuales indican el sentido de circulación de la información.

El diagrama funcional más básico que existe es el bloque simple, el cual consta de un solo elemento, una entrada y una salida.



Figura 27. Bloque de Transferencia simple de un sistema de control. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

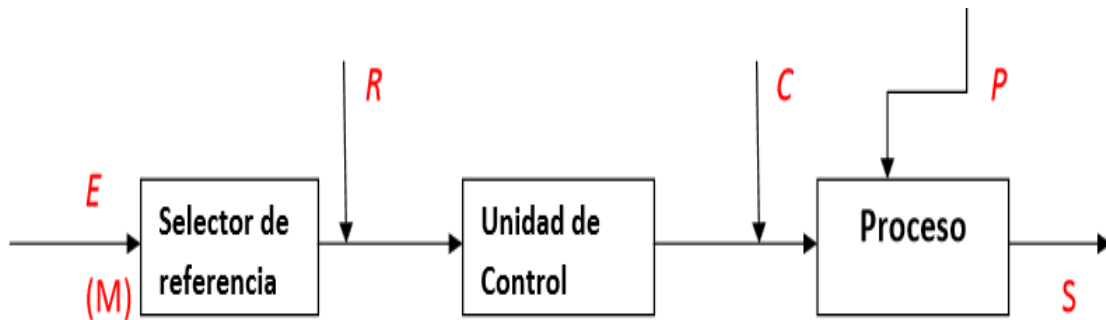


Figura 28. Diagrama de bloques para un sistema de control en lazo abierto. (Uriarte, 2011). Recuperado de <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMATICO.pdf>

2.2.5.6. Lazo Abierto

Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual la señal de salida no influye en la señal de entrada (Ver Figura 28).

- **Selector de referencia:** Evalúa la señal de mando para establecer una señal de referencia, que controlará todo el proceso. El elemento de control que se encarga de esta función es el **TRANSDUCTOR** (adapta la naturaleza de la señal de entrada al sistema de control).
- **Unidad de control:** Adapta convenientemente la señal de referencia para que pueda actuar o controlar el proceso. El elemento que se encarga de esta función es el **ACTUADOR**.
- **Proceso:** Realiza todas las acciones que sean necesarias para obtener la salida esperada. En color rojo se identifican las señales que intervienen:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

E = Señal de entrada o “de mando” (determinará cuál será el nivel de salida deseado). Puede ser manipulada por el operador del sistema, para modificar convenientemente la salida.

S = Salida, o “variable gobernada” (Pues dependerá de la entrada o señal de mando). (Uriarte, José María, 2011, p. 4-5).

2.2.5.7 Lazo Cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el cual la señal de salida depende de la entrada, llevándose a cabo una operación denominada Realimentación (*Feedback*), la cual compara los valores obtenidos en la salida con los de la entrada y a partir de este resultado se realiza una acción de control.

2.2.5.8 Realimentación

La realimentación o *Feedback* es una operación que se realiza en un proceso de control en lazo cerrado por la cual se compara las señales de salida con las de entrada, de modo que se pueda establecer una función entre ambas (Ver Figura 29).

2.2.5.9 Variador de Velocidad

También llamado convertidor. Es un dispositivo electrónico empleado para controlar la velocidad de una máquina, especialmente de motores.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Su diagrama de bloques puede representarse:

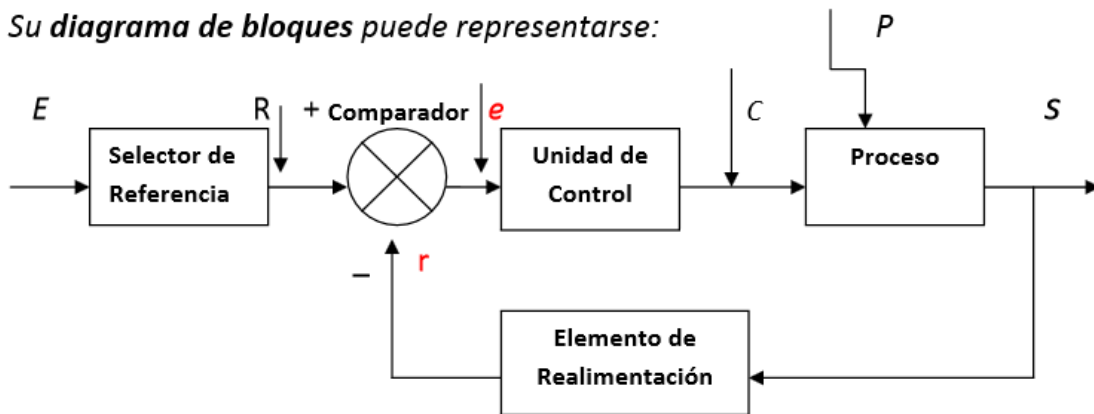


Figura 29. Diagrama de bloques para un sistema de control en lazo cerrado. Recuperado de <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMaTICO.pdf>

2.2.6 Norma Técnica Colombiana NTC-IEC 34 12

La norma hace referencia a las máquinas eléctricas rotatorias. Características de arranque de los motores trifásicos de inducción tipo Jaula de Ardilla de una sola velocidad.

Esta norma establece los parámetros de las características de arranque para cuatro tipos de diseño de motores trifásicos de inducción jaula de ardilla de una sola velocidad, de 50 Hz o 60 Hz, de acuerdo con la NTC 2805 (IEC 60034-1) que:

- Tengan una tensión nominal hasta de 1 000 V;
- Estén destinados para arranque directo o estrella-triángulo;
- Estén dimensionados para servicio Tipo S1;
- Estén contruidos con cualquier grado de protección

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Esta norma también se aplica a los motores de doble tensión siempre y cuando el nivel de flujo de saturación sea el mismo para ambas tensiones y para motores que tengan un tipo de protección “e –seguridad incrementada” con clases de temperatura T1 a T3 cumpliendo con las normas IEC 60079-0 e IEC 60079-7. (NTC-IEC 34-12. 2010, p. 1).

Para el presente proyecto se repasarán que efectivamente las máquinas rotatorias presentes en el edificio cumplan con los requerimientos de seguridad y funcionamiento previstos en la presente norma.

2.3 MÁQUINAS DISPENSADORAS DE CAFÉ Y AGUA

El agua es un elemento indispensable y esencial para la vida humana. El mejoramiento de la calidad del agua hace al mejoramiento de la calidad de la vida de los seres humanos. Es indudable que la tecnología ha acercado innumerables posibilidades al mejor nivel de todas las personas, y el dispensador es una de esas condiciones mejoradas a lo largo de los siglos de historia no sólo por su practicidad sino por la grandiosa aceptación de sus usos como lo es también el de café y otros productos. Para purificar esa agua que la mayoría de las veces está expuesta al impacto de factores de alto riesgo de contaminación ambiental se han creado los dispensadores de agua.

El dispensador de agua y café, sin duda acerca las mejores condiciones de vida a un cuerpo humano. La posibilidad de obtener agua fría y caliente de manera limpia y fresca, es un bienestar para las personas. En la actualidad, las empresas que proveen de dispensadores de agua y café, completan su oferta con vasos de polipropileno resistentes a las altas temperaturas del agua, en los casos en que el dispensador permita acceder tanto a agua

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

fría como caliente. Por otra parte, la misma empresa que instala el sistema, se compromete a mantener en óptimo estado el dispensador, y de igual manera, efectuar su sanitación periódica (Ver Figura 30).

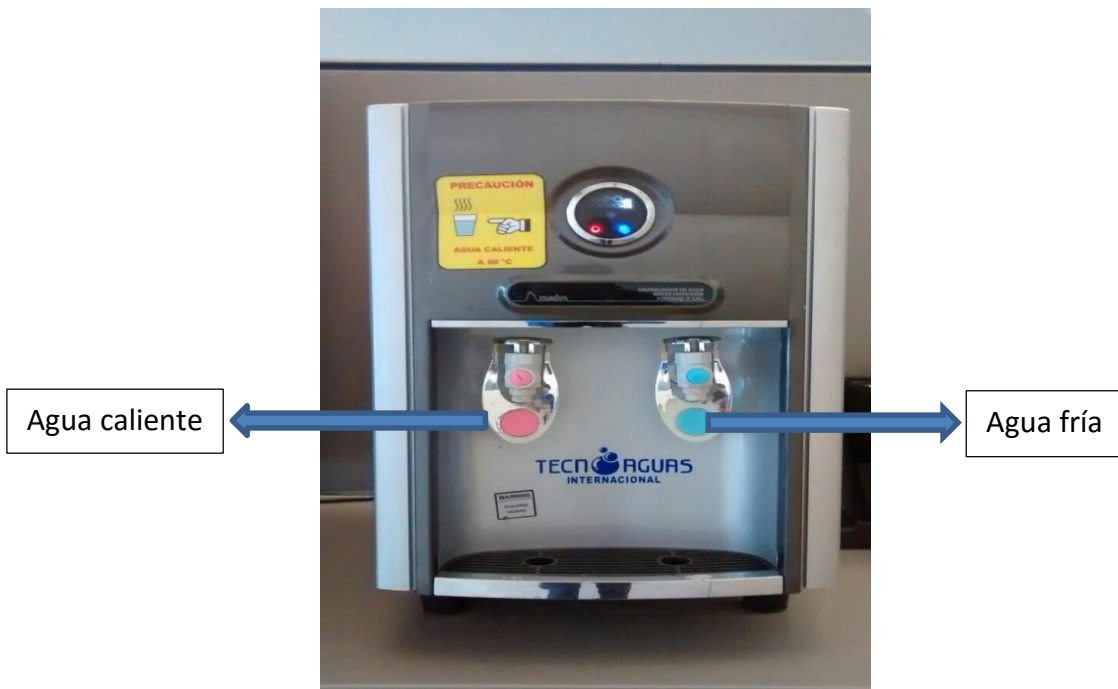


Figura 30. Dispensador de agua. Fuente: Elaboración propia



Figura 31. Dispensador de café. Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Principio de funcionamiento dispensador de agua

El dispensador de agua cuenta con un sistema de refrigeración por compresión de vapor para el suministro de agua fría, similar al de una nevera (Ver figura 31), y con resistencias eléctricas para el suministro de agua caliente (Ver figuras 32 y 33).

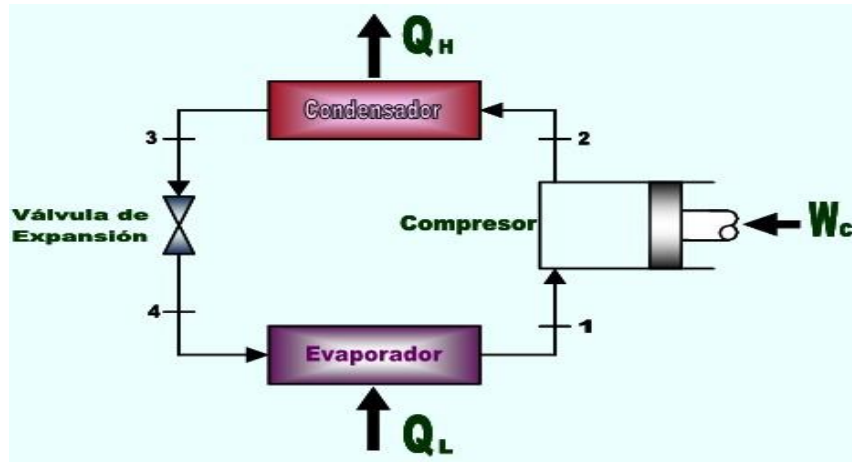


Figura 32. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Recuperado de http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-152.htm



Figura 33. Resistencias eléctricas. Recuperado de <http://www.diamore.com.ar/Blindadas.html>

El funcionamiento se basa en la refrigeración del agua que contiene en su interior. Esta se realiza mediante una secuencia de cambios de estado de un líquido refrigerante que circula a través de un circuito en el que se le va forzando alternativamente a comprimirse y expandirse, produciendo y consumiendo, alternativamente calor. La refrigeración no consiste en inyectar frío en el refrigerador sino en la extracción del calor existente en el mismo. Un sistema de refrigeración está compuesto por: Compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador.

2.3.1.1 Compresor

Su función es comprimir el gas refrigerante en estado gaseoso, aumentando su presión y su temperatura, pero reduciendo el volumen, siendo el medio por el cual se hace circular por todo el sistema de refrigeración. (Ver figura 34).

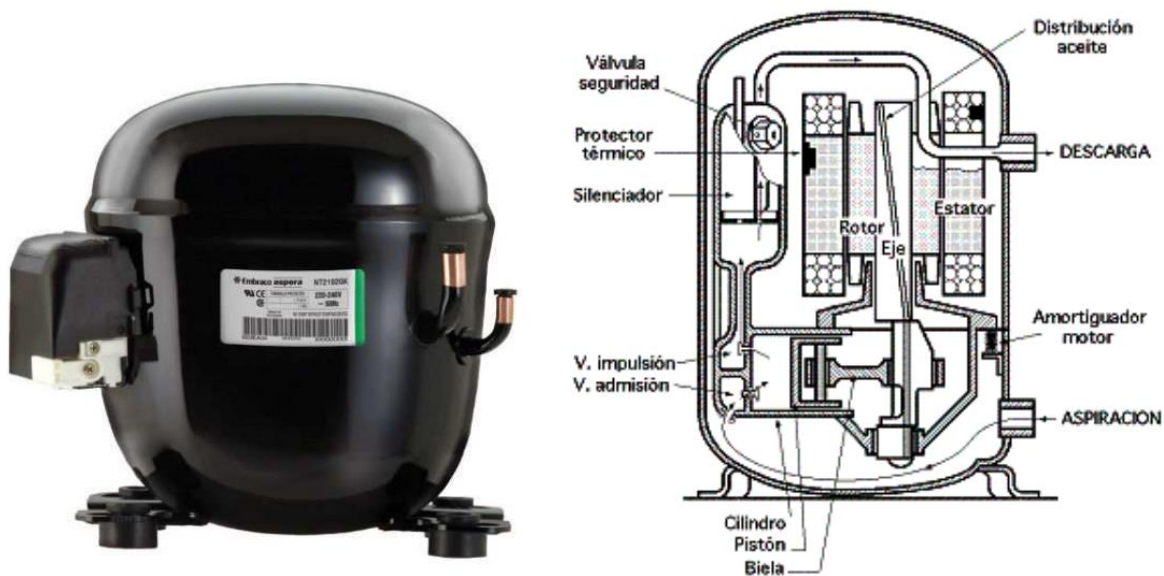


Figura 34. Compresor recíprocante. Recuperado de

<http://www.fing.edu.uy/iq/cursos/qica/repart/qica2/Compresores.pdf>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.1.2 Condensador

Es un intercambiador de calor en el cual entra el refrigerante a alta presión y temperatura proveniente del compresor, y que, a la salida, el refrigerante cambia de estado gaseoso a líquido debido a que libera calor durante su circulación por el condensador, reduciendo así su temperatura, pero conservando la misma presión. Este lo fabrican en forma de parrilla como se muestra en la Figura 35.



Figura 35. Condensador de un dispensador de agua. Fuente: Elaboración propia

2.3.1.3 Válvula de expansión

Su finalidad es restringir el paso del refrigerante en estado líquido hacia el evaporador disminuyendo su presión y velocidad. El bulbo con tubo capilar se encarga de sensar el calor en el lugar a refrigerar, y de acuerdo a esa variable aumenta o disminuye la presión, y la ejerce sobre una membrana y un muelle para la apertura o cierre de la válvula. (Ver figura 36).

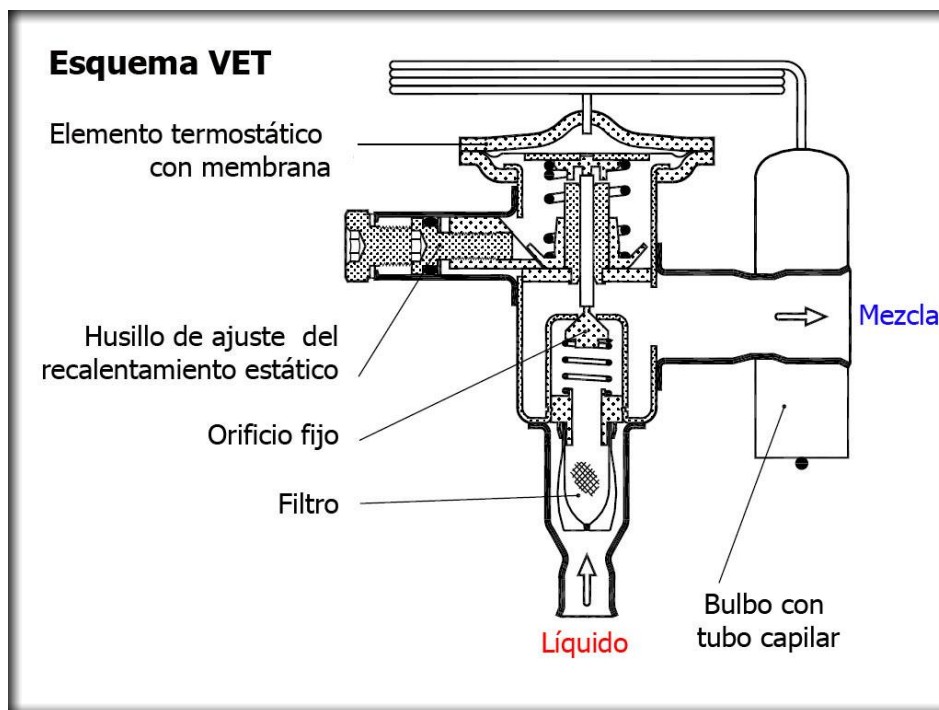


Figura 36. Válvula de expansión. Recuperado de

<http://refrigeracionyaireacond.blogspot.com.co/2013/02/equalizadores-valvulas-de-expansion.html>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.1.4 Evaporador

Es un intercambiador de calor, que, aprovechando las condiciones de baja temperatura y presión del gas refrigerante en estado líquido a su entrada, remueve calor del agua que se pretende enfriar evaporando así el refrigerante a su salida para llegar nuevamente al compresor y comenzar un nuevo ciclo. (Ver figura 37).



Figura 37. Evaporador. Recuperado de:
<https://refrielectric.wordpress.com/informacion/evaporador/>

2.3.1.5 Resistencia eléctrica

Se denomina resistencia eléctrica, simbolizada habitualmente como R, a la oposición que presenta un cuerpo al paso de una corriente eléctrica que circula a través de él. En el Sistema Internacional de Unidades, su valor se expresa en ohmios, que se designa con la letra griega omega mayúscula, Ω . Las resistencias eléctricas son fabricadas con aleaciones de níquel (80%) y cromo (20%) por sus propiedades para tolerar altas temperaturas; habitualmente se utilizan en estufas, hornos industriales y algunos microondas entre otros.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.2 Variables de Operación de las Máquinas dispensadoras de agua

- Voltaje: 110 - 120 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Refrigerante R 134a
- *Potencia nominal total 600W*
- *Potencia de calentamiento 500W*
- *Potencia de refrigeración 85W*
- *Capacidad de calefacción 5L / - ≥ 90 °C (1,32 g / h - ≥ 194 °F)*
- *Capacidad de enfriamiento 2L / - ≤ 10 °C (0,53 g / h - ≥ 50 °F)*

2.3.3 Problemas comunes de mantenimiento de los dispensadores de agua

- La situación más común es que se incineren las protecciones térmicas por sobrecarga, tanto las que están al interior del dispensador como las del interruptor que la alimenta.
- Por corto circuito son pocos los fusibles que se han quemado, ya que está muy bien conectado el cableado de control y potencia, pero aun así se han dado varios casos.
- Fugas de agua en las mangueras de suministro de agua potable.
- Desgaste en los empaques de las válvulas de agua caliente y fría.

2.3.5 Principio de funcionamiento dispensador de café

Los dispensadores de café también se utilizan para el servicio de otras bebidas como son cappuccino, moccacino, leche, te de limón y chocolate. La preparación de cada producto lo hace automáticamente a partir de componentes electromecánicos. (Ver figura 38).

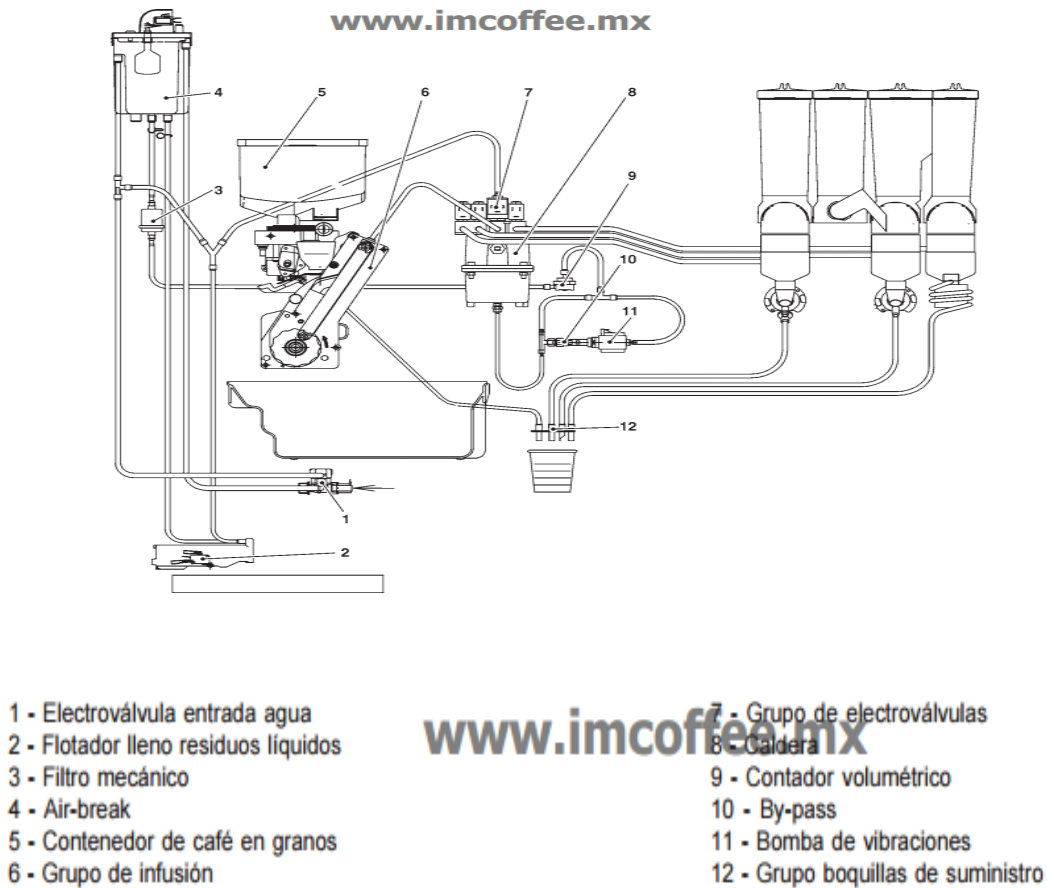


Figura 38. Componentes principales del dispensador de café. Recuperado de <http://www.imcoffee.mx/wp-content/uploads/2013/04/MANUAL-DE-USO-Y-INSTALACI%C3%93N-BRIO-3.pdf>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Cuando se selecciona la bebida, se mezcla la cantidad necesaria de agua y producto a partir de electroválvulas que controlan el llenado. El producto se encuentra en varios depósitos con la cantidad adecuada, y el agua se calienta en una caldera, que cuando alcanza la temperatura indicada, está lista para ser mezclada y consumirse. Sus componentes son: Electroválvula de entrada de agua, flotador lleno residuos líquidos, filtro mecánico, Air-break, contenedor de café en granos, grupo de infusión, grupo de electroválvulas, caldera, contador volumétrico, bypass, bomba de vibraciones y grupo de boquillas de suministro.

2.3.5.1 Electroválvula de entrada de agua

Controla el suministro de agua que ingresa al sistema.

2.3.5.2 Flotador lleno residuos líquidos

Funciona como una válvula haciendo un cierre mecánico cuando hay una cantidad considerable de residuos, cortando el suministro de agua en el sistema.

2.3.5.3 Filtro mecánico

Retiene las partículas que van con el suministro de agua para evitar taponamientos en el sistema.

2.3.5.4 Air-break

Funciona como una válvula de alivio, drenando vapor cuando se eleva la temperatura en el trayecto que va hacia la caldera.

2.3.5.5 Contenedor de café en granos

Este componente sirve para almacenar el café antes de mezclarse con el agua caliente que proviene de la caldera.

2.3.5.6 Grupo de infusión

Sirve para triturar el café en grano, y posteriormente se mezcla con agua caliente que proviene de la caldera, para finalmente llenar el vaso.

2.3.5.7 Grupo de electroválvulas

Controlan el llenado de agua fría que ingresa a la caldera, y la mezcla de agua caliente de la caldera con cada uno de los productos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.5.8 Caldera

Es la encargada de calentar el agua a la temperatura programada para después realizar la mezcla con los demás productos.

2.3.5.9 Contador volumétrico

Este dispositivo se encarga de sensor el volumen necesario de agua que ingresa a la caldera antes de mezclarse con los diferentes productos.

2.3.5.10 By-pass

Es una vía alterna que sirve para drenar parte del agua en la caldera hacia otro punto cuando se excede la cantidad necesaria en el llenado.

2.3.5.11 Bomba de vibraciones

Se encarga de impulsar el agua que proviene del drenaje del bypass hacia la caldera con el fin de aprovechar el suministro completo.

2.3.5.12 Grupo de boquillas de suministro

Son las encargadas de controlar el paso de producto mezclado hacia el vaso para su consumo.

2.3.6 Variables de Operación de las máquinas dispensadoras de café

- Voltaje: 110 - 120 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Potencia nominal total: 1500W
- Temperatura media de la bebida: 80°C

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.7 Problemas comunes de mantenimiento de los dispensadores de café

- Fusibles quemados en la alimentación eléctrica.
- Protecciones térmicas dañadas por sobrecargas cuando está funcionando la caldera.
- Deterioro del filtro mecánico.
- Fugas de agua en las mangueras de suministro de agua potable

2.3.8 Tomas corriente GFCI

Para el suministro eléctrico de los dispensadores de agua se tiene instalados tomas corriente tipo GFCI (*ground fault circuit interrupter*), y que podía traducirse como interruptor del circuito por fallo a tierra. La función de los tomas GFCI es monitorear la cantidad de corriente que fluye de la línea al neutro, y si existe una diferencia, como en el caso en el que la corriente fluya a tierra pasando por una persona, el dispositivo abre el circuito, cortando el flujo de corriente. Los tomas GFCI son capaces de sensor diferencias tan pequeñas de entre 4 a 6 mA y tienen un tiempo de reacción de 0.025 segundos. El uso de las tomas GFCI es recomendado en lugares húmedos, tales como cocinas, baños, lavanderías, vestidores, estacionamiento, patios de servicios, lugares a la intemperie, etc. Un interruptor de circuito por falla a tierra (GFCI), se instala para protegernos contra un choque eléctrico y cumple una función muy diferente a un fusible o a un interruptor termomagnético. También protegen contra incendios ocasionados por fallas eléctricas, sobrecalentamiento de herramientas o electrodomésticos y daños al aislamiento de los cables. (Ver figura 39).

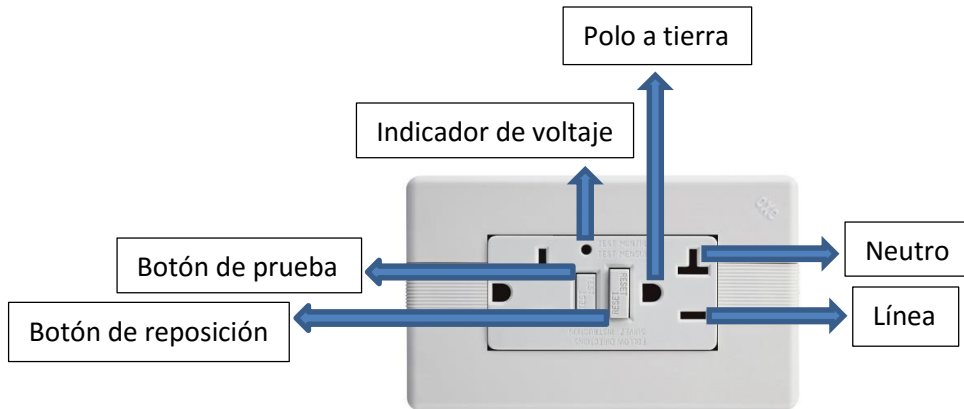


Figura 39. Toma corriente GFCI. Recuperado de

<http://www.avecolombiana.com.co/?opt=product&prod=233&cat=3&sub=215>

2.3.9 Interruptor Termomagnético

Los interruptores de protección termomagnéticos están equipados con mecanismos de disparo: la pieza dependiente de la temperatura del mecanismo está compuesta por un bimetálico con un arrollamiento de calefacción. Corrientes que superan la corriente nominal del módulo de protección, generan calor en el alambre caliente. El bimetálico se curva y reacciona sobre el mecanismo de conexión hasta que se desconecta. La reacción a corrientes de sobrecarga se retrasa.

El mecanismo de disparo magnético está compuesto por una bobina magnética y armadura rebatible o sumergible. Corrientes que superan la corriente nominal del módulo de protección, generan un campo magnético en la bobina. Con la corriente se refuerza el campo magnético y atrae la armadura. Cuando se alcanza el valor límite predeterminado la armadura acciona el mecanismo de disparo y desconecta de este modo el módulo de

protección. La reacción a corrientes de cortocircuito y altas corrientes de sobrecarga ocurre en un periodo entre tres a cinco milisegundos (Ver Figuras 40 y 41).

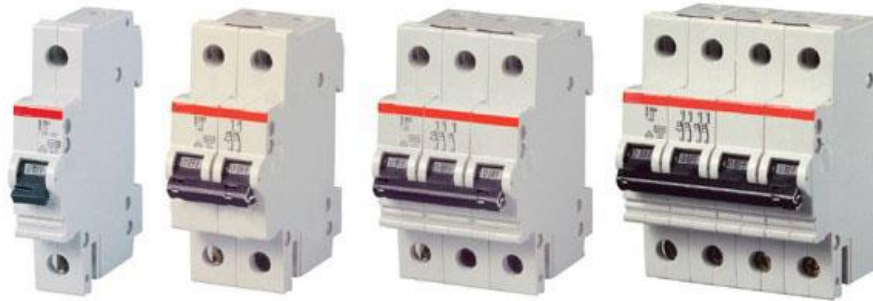


Figura 40. Interruptor termomagnético. Recuperado de <http://www.ing.unrc.edu.ar/grupos/ipsep/ensayos.html>

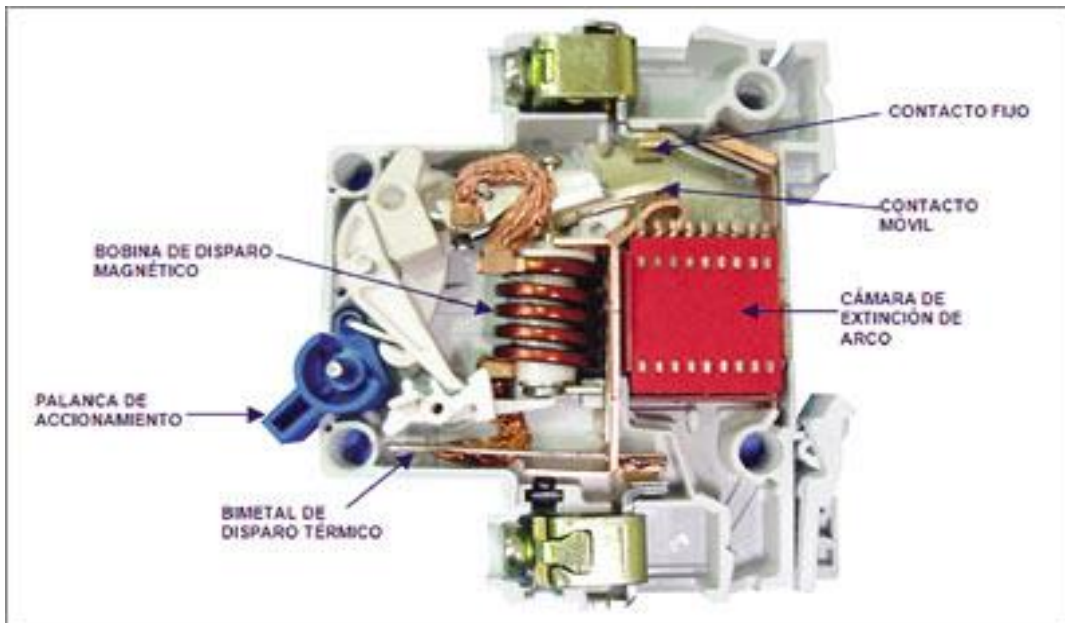


Figura 41. Interruptor termomagnético. Recuperado de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1741>

2.3.10 Software: Power Link G3

Este sistema integra, controla, monitorea y protege los circuitos dentro de un completo paquete para el control del alumbrado y otras cargas en los circuitos derivados.

Power link G3 proporciona:

- Ahorros de Energía, reducción en el desperdicio de la energía en el sistema de alumbrado y demás cargas instaladas.
- Monitoreo del estatus y control del sitio remotamente.

2.3.10.1 Sistemas de Control Convencional

Este es el modelo de un sistema de control típico para alimentar cargas como iluminación y tomas corriente de energía normal y regulada, asociado a edificaciones. (Ver figura 43)

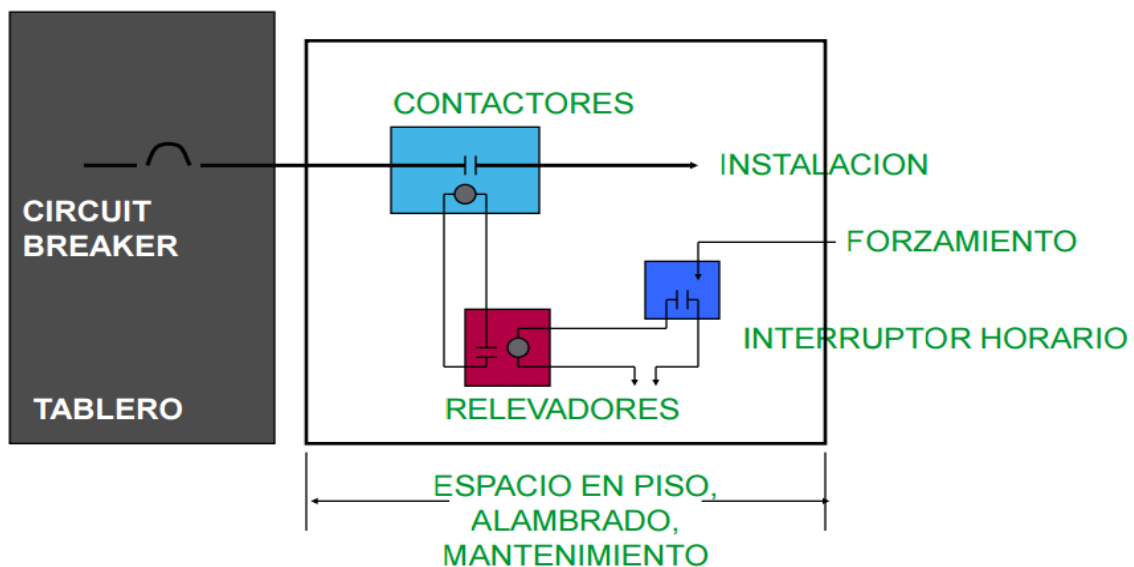


Figura 42. Sistemas de Control Convencional. Recuperado de www.schneider-electric.com.co

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.10.2 Sistema de Control Power Link G3

Este es el modelo de un sistema de control Power link para alimentar cargas como iluminación y tomas corriente de energía normal y regulada, asociado a edificaciones. (Ver figura 44)

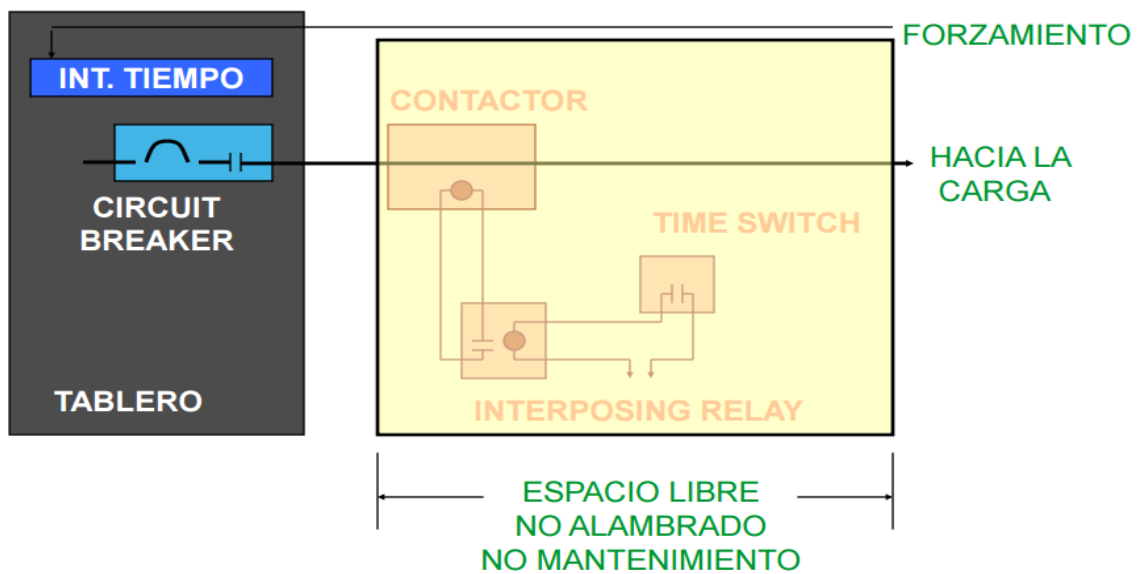


Figura 43. Sistema de Control PowerLink G3. Recuperado de www.schneider-electric.com.co

Los beneficios del PowerLink G3 son:

- Tiene un tamaño compacto
- Reduce el tiempo de diseño
- Reduce los costos de instalación
- Tiene un amplio rango de gabinetes
- Tiene un control individual en circuitos derivados

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Se puede configurar de una manera flexible
- Posee un poderoso control de capacidades
- La operación es confiable

2.3.10.3 Tablero de alumbrado inteligente

Este es el tipo de tablero eléctrico que se utilizara para alimentar los toma corriente. (Ver figura 45).

Componentes

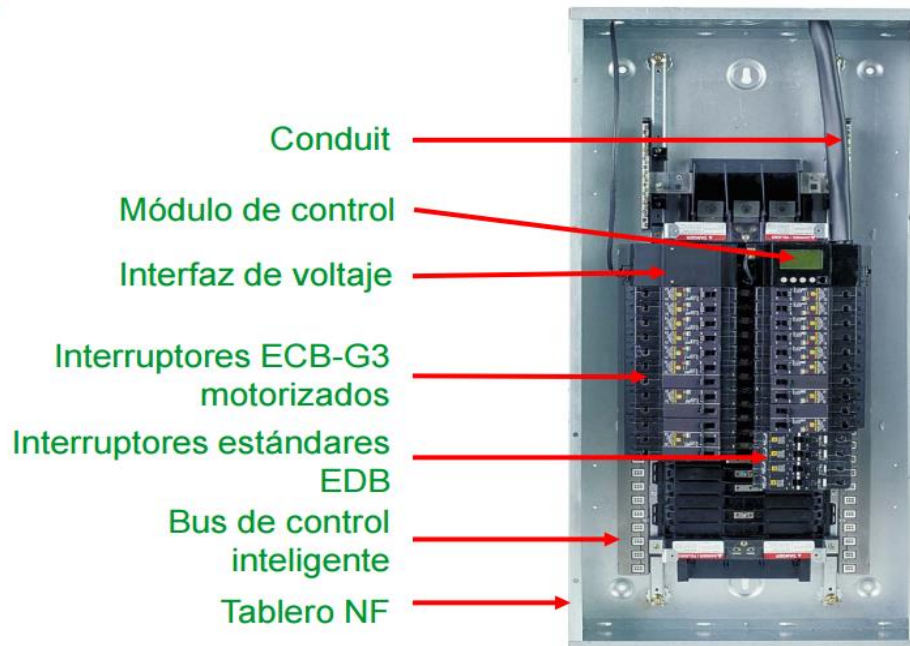


Figura 44. Tablero de alumbrado inteligente. Recuperado de www.schneider-electric.com.co

2.3.10.4 Interruptor termomagnético ECB – G3

Se utilizara el Interruptor termomagnético de 1 polo con protección de 20 amperios. (Ver figura 46)



Figura 45. Interruptor termomagnético ECB - G3. Recuperado de www.schneider-electric.com.co

- **Características**
 - Maneja rangos de corriente de 15, 20 y 30 Amperios; 1, 2 y 3 polos
 - Tiene una capacidad Interruptiva a 240 Voltios de 65 kA, 480Y/277Voltios: 14 kA
 - Listados por UL (Underwriters Laboratories) como tipo:
 - SWD (Para servicio de desconexión)
 - HID (Para alta intensidad de descarga)
 - HACR (Calefacción, aire acondicionado y refrigeración)
 - Indicación de estado mecánico
 - Posee un selector de operación Automática/Manual

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.10.5 UL (*Underwriters Laboratories*)

Es una compañía científica dedicada a realizar ensayos experimentales de productos, generalmente eléctricos, con los cuales brinda asesorías, pruebas de seguridad y auditorías entre otros, para luego certificarlos.

2.3.10.6 Vista interna interruptor termomagnético ECB-G3

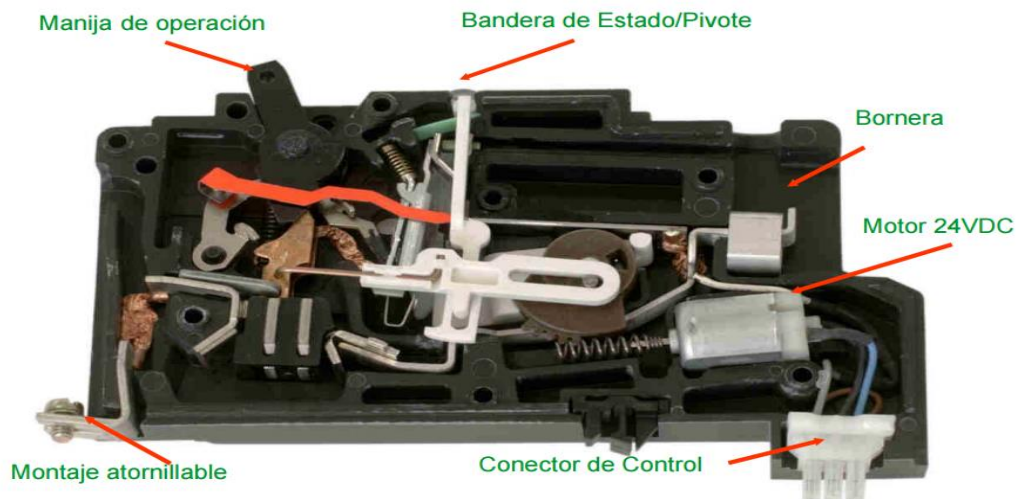


Figura 46. Vista interna interruptor ECB-G3. Recuperado de www.schneider-electric.com.co

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.10.7 Buses de control G3

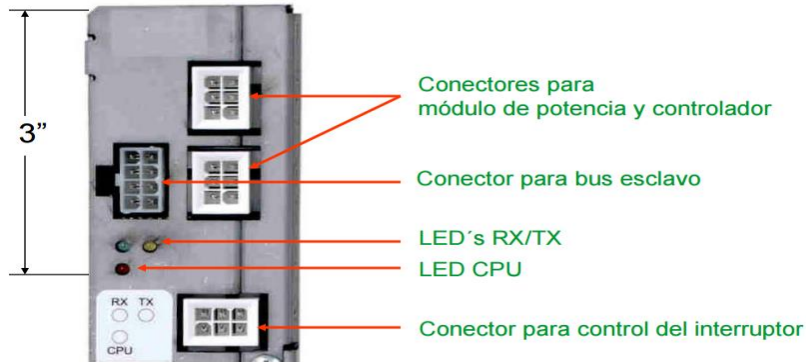


Figura 47. Buses de control G3. Recuperado de www.schneider-electric.com.co

- Los buses de control son los que distribuyen los datos para el control y monitoreo de interruptores.
- Se acoplan directamente a un interior tipo NF para proporcionar un alineamiento adecuado con los interruptores.
- Tienen conexiones enchufables para interruptores y componentes electrónicos.
- Dispone de Interiores tipo NF de 24, 30 y 54 circuitos.
- Listados UL Clase 1.

2.3.10.8 Interfaz de voltaje PS120PSG3

Es un dispositivo que funciona como el medio de comunicación entre el módulo de control y el tablero que se desea automatizar. Por este dispositivo se transfiere la información del estado en que se encuentra los interruptores y es la vía para manipularlos automáticamente.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Interfaz de voltaje G3



Figura 48. Interfaz de voltaje PS120PSG3. Recuperado de www.schneider-electric.com.co

- Alimenta un módulo de control y hasta 8 buses de control
- Es un modelo PS120PSG3 (120Voltios, 208Y/120 Voltios)
- Auto protegido internamente con supresor de picos para regular el voltaje, ya que, siendo un componente electrónico, es más sensible a variaciones.
- Seleccionable a diferentes niveles de voltaje.

2.3.10.9 Módulo de control Power link NF2000G3



Figura 49. Módulo de control Power link NF2000G3. Recuperado de www.schneider-electric.com.co

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- El control está almacenado en la memoria
- Se puede programar en la pantalla
- Los programas se configuran por entradas y tiempo
- Puede controlar la red de alumbrado y otro tipo de cargas
- Control basado en la Web
- 6 entradas (expandible hasta 64)
- 64 zonas de control

2.3.10.10 Protocolo de comunicación Modbus

Un protocolo de comunicación se basa en normas para transferir datos en una manera tal que haya entendimiento entre los distintos componentes de un sistema, emitiendo y recibiendo información constantemente. Es por ello que es indispensable establecer un tipo de comunicación entre los tableros eléctricos y los computadores sobre los que se van a controlar.

El protocolo MODBUS define una estructura de mensajes que puede ser reconocida por diferentes dispositivos independientemente del tipo de red de comunicaciones utilizada. El protocolo describe el proceso para acceder a información de un dispositivo, cómo debe responder éste, y como se notifican las situaciones de error. El protocolo MODBUS define una red digital de comunicaciones con un solo maestro y uno o más dispositivos esclavos. El modo de transmisión es la estructura de las unidades de información contenidas en un mensaje. (AxonGroup, s.f.)

2.3.11 Norma Técnica Colombiana NTC 2050

Las instalaciones para el suministro eléctrico de los dispensadores de agua y café cumplen con la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 en los siguientes numerales:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **L. Tomacorrientes, conectores de cordón y clavijas de conexión, pagina 290 - 291:**

410-58. Tomacorrientes, adaptadores, conectores y clavijas del tipo con polo a tierra.

a) Polos de puesta a tierra. Los tomacorrientes, conectores y clavijas con polo a tierra, deben llevar un polo de tierra fijo, además de los polos normales del circuito.

b) Identificación del polo a tierra. Los tomacorrientes, adaptadores, conectores y clavijas con polo a tierra deben disponer de un medio para conectar al polo de tierra un conductor de puesta a tierra. El terminal para conexión del polo a tierra esta designado por el siguiente método:

- Mediante un tornillo terminal de color verde, de unas características tales que garanticen que durante su instalación no se presenten daños, como rotura del tornillo o deterioro de las hendiduras, de las cabezas o de la rosca que perjudiquen la operación posterior de los terminales.

- **B. Medios de desconexión, página 361:**

440-13. Equipos conectados por cordón y clavija.

En los equipos conectados con cordón y clavija, como acondicionadores de aire para cuartos, refrigeradores y congeladores domésticos, enfriadores de agua potable y dispensadores de bebidas, se permite utilizar como medio de desconexión un conector separable o una clavija y tomacorriente.

440-14. Ubicación. El medio de desconexión debe estar ubicado a la vista del equipo de aire acondicionado o refrigeración y ser fácilmente accesible. Se permite que el medio de desconexión esté instalado en o dentro del equipo de aire acondicionado o refrigeración.

Para el presente proyecto se repasarán que efectivamente las máquinas dispensadoras de café y agua presentes en el edificio cumplan con los requerimientos de seguridad y funcionamiento previstos en la presente norma.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3. AUDITORÍA ENERGÉTICA

El consumo de energía se constituye como un factor predominante en los costos de producción. Por esto, el sector industrial evidencia la necesidad de realizar una profunda y cuidadosa gestión en los costos energéticos con el objetivo de aprovechar los beneficios que puede ofrecer la eficiencia energética y obtener mayores posibilidades de competitividad.

“En este sentido, las Auditorías Energéticas representan un proceso sistemático mediante el cual se obtiene información del consumo energético de la empresa, con la finalidad de detectar los factores que afectan el ahorro energético, en función de su rentabilidad. Es decir, son una guía para la acción, enfocadas en la búsqueda de racionalizar y optimizar no solo los usos y consumos energéticos, sino también los procesos y procedimientos tecnológicos que se dan al interior de la empresa y que involucran usos y consumos de energía”. (Ministerio de Minas y Energía, 2007, p. 14).

Las auditorías energéticas son desarrolladas por personal experto propio de la empresa, o si se considera necesario teniendo en cuenta su complejidad, se puede acudir a profesionales externos, los cuales tengan conocimiento de los procesos de la empresa. Para su realización, requieren de una serie de medidas específicas y concretas, las cuales brindan información del desempeño estándar de la empresa.

La auditoría energética es una de las gestiones más importantes en todo proyecto que busca ofrecer soluciones y alternativas para un uso racional de la energía, pues es el umbral en el cual se conoce el funcionamiento real de la empresa y cómo se están utilizando las distintas energías que dispone. Una vez se supera este umbral, se puede proseguir más adentro midiendo cuánto es el costo en las condiciones actuales y cuánto se podría ahorrar implementando otras opciones como cambiando equipos, modificando tiempos de servicio

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

o instruyendo al personal con hábitos que ayuden a hacer un uso adecuado de la energía dentro de la empresa.

Por otra parte, La Agencia Andaluza de la Energía, (2011: 18), presenta diversos aspectos que se deben abarcar al momento de analizar el uso energético:

- **La industria**
 - Actividad de la industria y análisis al proceso productivo
 - Descripción de los sistemas de generación, distribución y consumo de energía
 - Consumos energéticos y producción de los dos últimos años
 - Distribución del consumo energético por tipos de energías y costes
- **La eficiencia energética**
 - Análisis energéticos de los generadores térmicos y frigoríficos
 - Análisis energéticos de los grandes consumidores finales
 - Análisis energético de los sistemas de distribución de energía
- **Las medidas de ahorro energético**
 - Medidas de ahorro en los equipos de generación de energía
 - Medidas de ahorro en grandes consumidores
 - Medidas de ahorro en los sistemas de distribución de energía
 - Análisis económico pormenorizado de las medidas

Para realizar el diagnóstico energético de la empresa, se debe tener ayuda de equipos de medición de última tecnología. El Ministerio de Minas y Energía, (2007: 23) en la Guía Didáctica para el desarrollo de Auditorías Energéticas, Propone una lista de medidas y equipos básicos para la realización de las auditorías:

- **Medidas Eléctricas:** Un analizador de redes con pinzas amperimétricas y multímetros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Medidas para instalaciones de combustión:** Un analizador de gases de combustión que incluya sonda para tomar muestras, opacímetro, termómetro para gases y ambiente.
- **Otros instrumentos y medios:** Luxómetros, sondas de temperatura ambiente, pirómetros, ópticos y termográficos, anemómetros y caudalímetros. Entre otros equipos auxiliares indispensables está un computador, cronometro, caja de herramientas y equipo de seguridad para el uso eléctrico (casco, ropa adecuada, guantes, máscaras, botas, etc.)

Por otra parte, las Auditorías energéticas requieren de otros factores importantes, (Ministerio de Minas y Energía. 2007: 28-29). Ellos son:

- **MOTIVACIÓN Y COMPROMISO**

Dentro de la empresa se debe incentivar y motivar el uso eficiente y racional de la energía, pues esto además de reducir el presupuesto de gastos, permite al país seguir contando con recursos energéticos suficientes para las demás generaciones.

- **CREACIÓN DE UN COMITÉ DE AUDITORÍA ENERGÉTICA**

El comité deberá estar constituido por el gerente, el jefe de producción, el jefe de mantenimiento y el profesional del área financiera y contable. Este comité deberá discutir y analizar los procesos energéticos que se vayan evidenciando como avances y resultados de la Auditoria, e implementar las soluciones pertinentes.

- **DEFINICIÓN DE LA AGENDA AUDITORA**

La asignación de tareas a realizar y el plan de trabajo para la Auditoria varían de acuerdo a variables como: el tamaño, alcance, sector económico de la industria, antigüedad de los equipos, etc. El plan de trabajo para realización de la Auditoria debe tener como base, los pasos definidos para ello.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3.1 Pasos para realizar una Auditoría

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de las Auditorías Energéticas es optimizar el consumo energético en la industria, para ello se hace necesario realizar un análisis detallado de la empresa, de su proceso productivo y del uso global de la energía.

La Agencia Andaluza de la Energía, (2011: 19-22). Propone la división de la auditoría energética en cuatro fases:

- **FASE 1. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ENERGÉTICA**

El objetivo de esta primera fase es conocer de qué manera llega la energía a la empresa, cómo se transforma, se distribuye y se consume en los equipos finales del proceso:

1. Actividad industrial y proceso productivo:

El primer paso será el conocimiento sobre las actividades industriales de la empresa, y el estudio detallado del proceso productivo, enfatizando en los procesos de gasto de energía. Igualmente se requiere conocer la planta y la producción obtenida. La información se puede agrupar mediante tablas de datos o diagramas.

2. Estructura del consumo energético

La contabilidad energética se puede realizar a partir de la facturación energética o de los datos medidos. Se analizan los datos de medidas existentes y se podrán tener en cuenta, además, las consultas al personal de la fábrica.

3. Informe de estructura energética

Una vez se ha identificado el proceso productivo y obtenida la estructura energética, se puede culminar esta fase con la realización de tablas y diagramas de flujo de energía, los cuales reflejen los resultados obtenidos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **FASE 2. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

1. Eficiencia energética de generadores y consumidores finales

Una vez la Fase 1 ha permitido conocer a nivel detallado el proceso productivo y el consumo energético, se analiza la eficiencia energética en los equipos y sistemas de la empresa, los cuales puedan presentar un ahorro energético potencial. Dicho análisis de eficiencia energética requiere la realización de balances de materia y energía en los equipos y sistemas.

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

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

En esta fase se deben recoger todas las alternativas posibles de ahorro energético que se hayan identificado según la clasificación anterior, sin detallar su viabilidad económica.

2. Eficiencia energética de los sistemas de distribución de energía

De la misma manera como se han analizado los equipos energéticos, debe realizarse el análisis de eficiencia en los distintos servicios o sistemas de distribución de energía. Las propuestas de mejora energética irán de la mano con la disminución en las pérdidas o la mejora en las condiciones de distribución de la energía, y pueden distribuirse entre estos tres grupos:

- Modificación de las condiciones de operación para eliminar las pérdidas
- Mejora en el mantenimiento de redes de distribución

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Aprovechamiento de energías residuales

- **FASE 3. EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO**

Después de analizar las diferentes medidas de ahorro propuestas en fases anteriores, deben seleccionarse aquellas que sean técnica y económicamente viables. Una vez seleccionadas, se pueden analizar según la metodología que se presenta a continuación:

Para cada medida se debería evaluar:

- Ahorro energético
- Ahorro económico
- Reducción de impacto ambiental
- Inversión necesaria
- Periodo de amortización
- Análisis de sensibilidad a los precios energéticos

- **FASE 4. INFORME FINAL DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA**

Una vez analizadas y seleccionadas una o varias posibilidades de ahorro, la auditoría energética concluirá con el informe concreto y profundo en el cual se expongan los pasos realizados y se pondrá especial énfasis en describir claramente los siguientes aspectos:

- Descripción de la fábrica
- Estructura energética
- Toma de datos
- Análisis de eficiencias
- Medidas de ahorro
- Evaluación económica

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Plan de implantación de medidas
- Anexos

En la figura 50, se resumen las fases descritas anteriormente y que constituyen el procedimiento de Auditoría Energética:

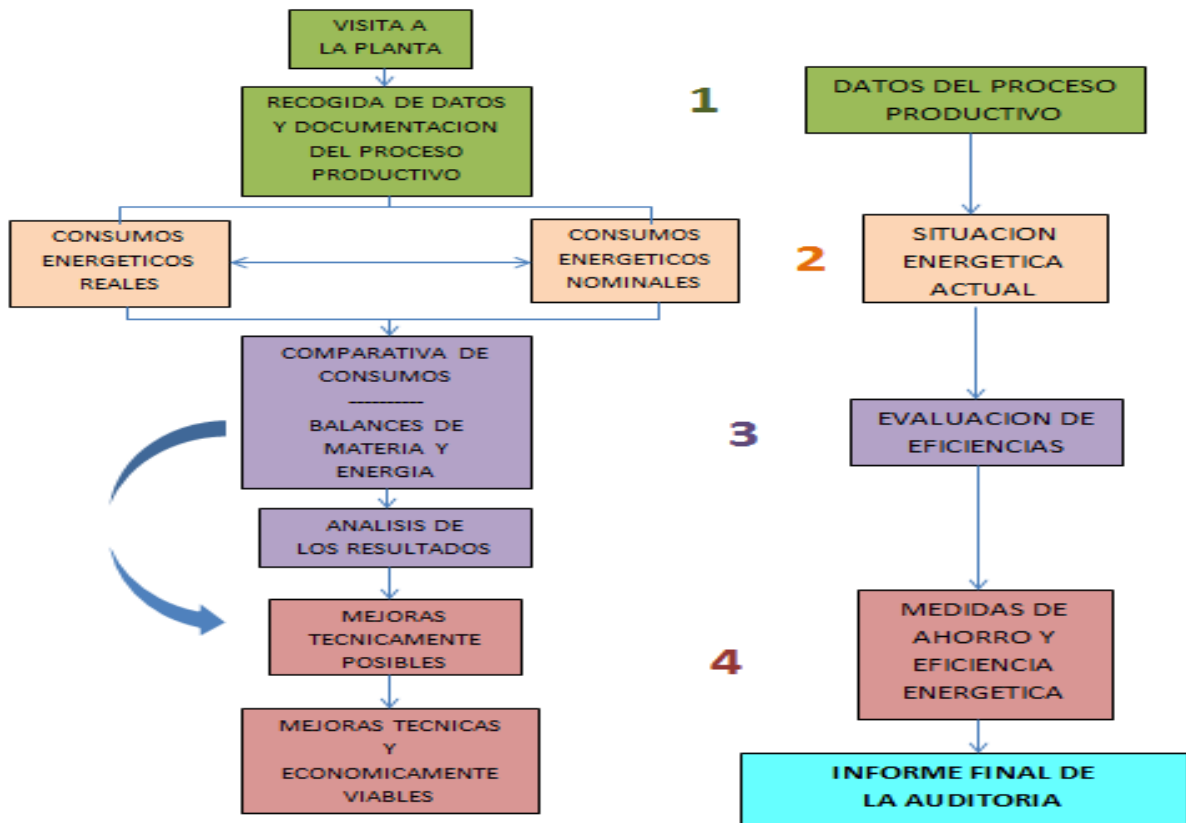


Figura 50. Esquema del procedimiento de auditorías. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3.2 Tendencias Actuales de Realización de Auditorias

Actualmente en el campo de las auditorías energéticas industriales se han propuesto diversas metodologías con el fin no solo de reducir el consumo de energía en los edificios, sino también reducir los costos y el impacto ambiental. La Auditoria Energética Verde *The Green Energy Audit* propone un enfoque diferente al tradicional, pues el valor añadido reside en la importancia de la sostenibilidad ambiental.

Según Dall 'O' *et al.*, (2012) La Auditoria Energética Verde mantiene las características básicas de la Auditoria tradicional, su valor añadido reside en que está dirigida a mejorar la sostenibilidad global del edificio.

La Auditoria Energética Verde ha sido un procedimiento metodológico discutido por varios autores aproximadamente desde 2008, y aplicado en países como Estados Unidos, Europa e Italia.

La metodología de este tipo de auditoria implica una serie de opciones:

- La definición de las medidas de ahorro que conducen a una reducción en el consumo de los recursos.
- Establecer como criterios de intervención por abordar en la Auditoria, maximizar la eficiencia energética y la calidad del medio ambiente.
- Preferir las medidas de ahorro que requieren de energías renovables (solar térmica, solar fotovoltaica y biomasa)
- Definir entre las medidas de ahorro, todo lo natural y las soluciones que puedan ayudar a controlar el clima y la luz en el edificio.

El objetivo de la Auditoria Energética Verde es identificar las medidas que puedan mejorar el rendimiento energético y la sostenibilidad de los edificios. La relación del análisis

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

costo/eficiencia permite identificar las situaciones potenciales de ahorro y permite sugerir medidas sostenibles en general.

- **LAS HERRAMIENTAS PARA UNA AUDITORIA ENERGETICA VERDE**

La Auditoria Energética Verde se realiza con un plan operativo, el cual define las estrategias y las acciones que se derivan del uso racional de los recursos.

Entre las herramientas para la realización de la Auditoria, los autores Dall 'O' *et al.*, (2012) afirman que el procedimiento se compone de 120 medidas para aumentar la sostenibilidad, las cuales se pueden dividir en cinco áreas:

- Construcción sostenible (priorizando la luz natural y los materiales ecológicos)
- Sistemas mecánicos sostenibles (ventilación, servicios de agua y calefacción)
- Sistemas eléctricos (generación, distribución y uso adecuado de la energía)
- Energías renovables (utilización de energías solares y biomasa, entre otros)
- La gestión (mejora de la gestión, el mantenimiento, el consumo de energía, entre otros)

Igualmente, la Auditoria Energética Verde resalta los beneficios energéticos y ambientales, en la cual se resaltan las consecuencias para el medio ambiente y los recursos económicos. Los consejos y precauciones para aumentar la eficacia de las medidas de ahorro.

Es importante resaltar que La Auditoria Energética Verde es una herramienta para analizar los edificios y los equipos desde el punto de vista del consumo de la energía, una vez se ha mejorado el rendimiento, debido a la puesta en práctica de las intervenciones, es importante iniciar una política comercial que tiene como objetivo el mantenimiento o mejora de dichos servicios. Por lo tanto, la Auditoria resulta fundamental para permitir construir un proceso de mejora continua tanto para la empresa como para el medio ambiente.

3.3 Gestión Energética

El propósito fundamental de la gestión energética es realizar una evaluación sistemática de cualquier tipo de energía que se usa en un proceso con el fin de reducir la energía que se usa en promedio, la energía por unidad de producto, los costos de la energía y las emisiones de gases.

La gestión energética es un proceso continuo ya que los procesos en una empresa o industria están expuestos a constantes cambios, modernizaciones y todo esto lleva a la necesidad de estar revisando con regularidad los impactos ambientales y económicos que generan. (Ver Figura 51)



Figura 51. Proceso continuo de la Gestión Energética. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Elementos fundamentales de realización de la auditoria energética

En la figura 52 se muestran los elementos fundamentales para realizar una auditoría energética.

Nota importante: En azul se muestran los puntos que se trabajarán en el presente capítulo. Los puntos restantes se analizarán en capítulos posteriores.



Figura 52. Elementos fundamentales de la realización de una auditoria. Fuente: Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

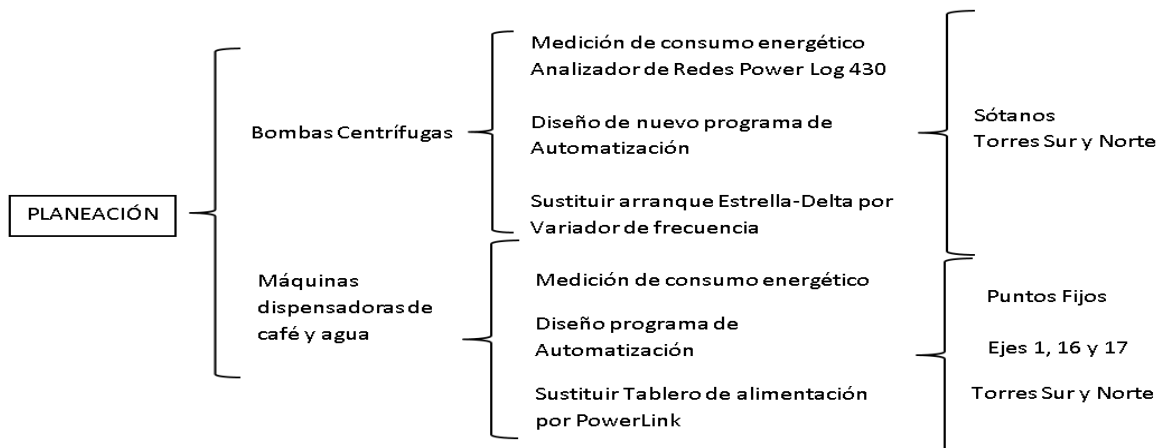
3.4.1 Visita Técnica

La primera comprobación técnica a Bancolombia consistió en una revisión general de los equipos que forman parte de cada uno de los apartados del presente proyecto y se dividió en dos secciones:

1. Revisión de las bombas centrífugas en los dos sótanos del edificio
2. Revisión de las máquinas dispensadoras en cada uno de los ejes y puntos fijos

De esta primera visita se precisaron los puntos a seguir para el desarrollo del diseño de ahorro energético de acuerdo a aquellos aspectos que se consideraron viables para su ejecución y que determinan una ventaja energética frente al actual sistema en operación.

3.4.2 Planeación del trabajo de visita técnica



Cuadro 4. Planeación del trabajo de visita técnica. Fuente: Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3.4.3 Levantamiento de información de Campo

El levantamiento de campo en una auditoría energética consiste en una recolección sistemática de toda o alguna parte de la información de las operaciones de la empresa que se desea evaluar. Esta información incluye las características técnicas de los equipos, ubicación, funcionamiento actual, entre otros datos relevantes y necesarios para realizar los cálculos asociados al desarrollo de actividades de ahorro energético.

3.4.3.1 Levantamiento de información de campo de las Bombas Centrífugas

En el edificio Bancolombia se cuenta con 4 bombas centrífugas para impulsar agua potable desde el sótano hasta el piso 12 de ambas torres, dos por cada torre. (Ver datos de placa en las tablas 3 y 4).

Tabla 3

Datos de placa bombas torre sur.

Marca	Sterling Halberg
Modelo	NOWMB 4020
Serie	CO-080229
Potencia	20 hp
RPM	3500

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 4

Datos de placa bombas torre norte.

Marca	Sterling Halberg
Modelo	NOWMB 3220
Serie	CO-080227
Potencia	15 hp
RPM	3500

3.4.3.2 Funcionamiento actual del Sistema de Bombeo

El sistema de bombeo está integrado por:

- Tanques de distribución y recepción
- Red de acueducto suministrado por EPM
- Electroválvulas y válvulas de compuerta *Red White* con un sistema en bypass
- Bombas centrífugas
- Tablero eléctrico de potencia y control
- PLC

Los tanques de distribución y recepción se encuentran en los sótanos y piso 12 del edificio respectivamente.

El suministro de agua hacia los tanques de distribución se realiza por medio de la red de acueducto de EPM a través de una electroválvula, y en caso de que esta falle se realiza por

dos válvulas manuales (Bypass), las cuales permanecen normalmente cerradas. (Ver Figura 53)

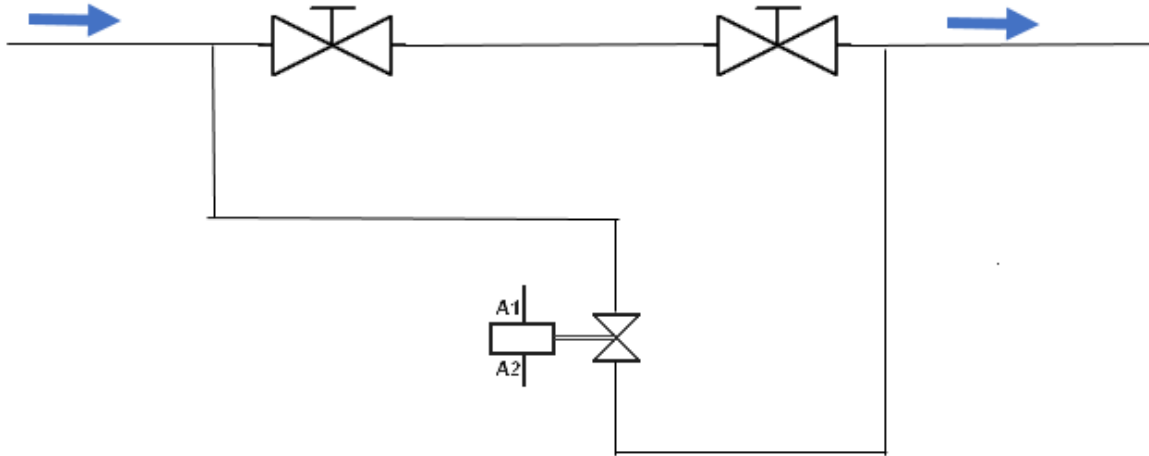


Figura 53. Red de suministro de agua hacia los tanques de distribución. Fuente:
Elaboración propia

El modo de operación de la electroválvula está condicionado por el nivel actual de los tanques de distribución. El nivel de agua se mide por medio de 5 sensores de nivel, que constan de tres microswitches y dos flotadores y los cuales se clasifican de acuerdo al nivel que se desea sensor. (Ver figura 54).

- Muy bajo
- Bajo
- Óptimo
- Alto
- Muy alto

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Cuando el nivel se encuentra por debajo del Óptimo, el respectivo microswitch envía una señal eléctrica al tablero de control y potencia para que active la electroválvula y permita el flujo de agua hacia los tanques; en caso contrario, si se encuentra por encima de este nivel, se cierra la electroválvula.

Dado el caso mediante el cual el nivel alcance los niveles de Bajo o Alto, sea porque se presente un fallo en la electroválvula, se envía una señal al tablero de control y potencia activando un piloto de acuerdo al nivel indicado, junto con otra señal de aviso al Centro de Gestión vía PLC mediante un protocolo de comunicación.

Para los niveles Muy bajo y Muy alto, se envía la señal directamente al Centro de Gestión, desde donde se avisará inmediatamente para tomar las acciones correspondientes para corregir el fallo. El uso de PLC en este sistema de bombeo no cumple ninguna tarea de automatización. Su operación se reduce únicamente a enviar información respecto al estado actual de los sensores y de las bombas centrífugas por medio de un protocolo de comunicación.

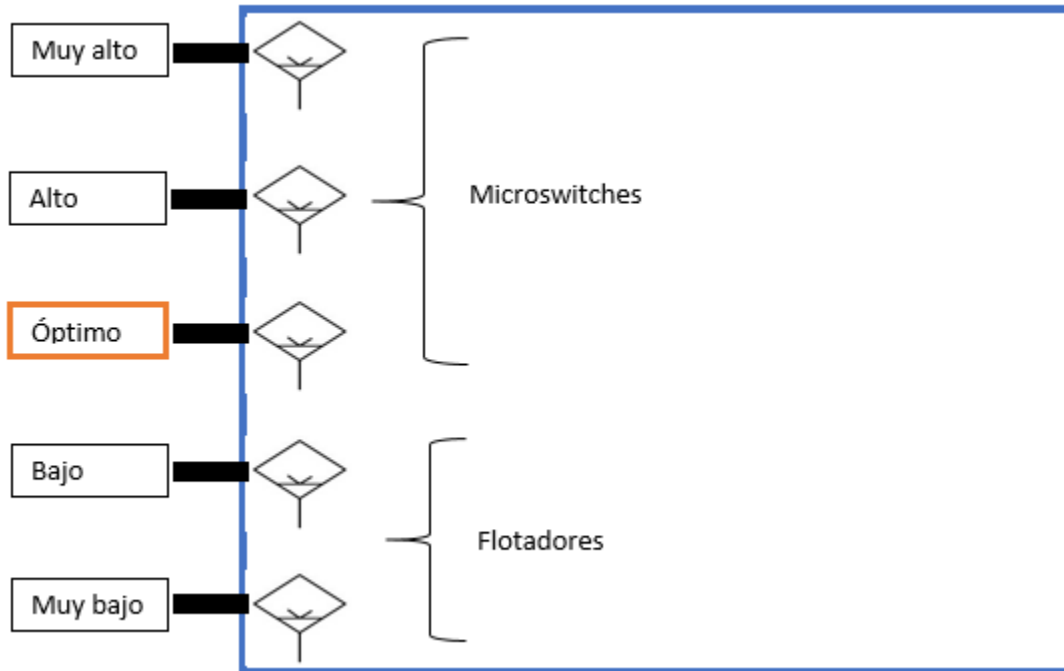


Figura 54. Distribución de los sensores de nivel en los tanques de distribución. Fuente: Elaboración propia.

El modo de operación de las bombas centrífugas se encuentra igualmente condicionado por el nivel actual de los tanques de distribución. Cuando el nivel se encuentra en Muy bajo, (caso que solo puede ocurrir si se presenta algún fallo en la electroválvula o el control eléctrico). El respectivo flotador manda una señal eléctrica al tablero de control y potencia para que desenergice las bombas centrífugas y se pueda evitar su operación en vacío.

Los tanques de recepción, (situados en el piso 12), al igual que los tanques de distribución, cuentan con 5 sensores de nivel clasificados de igual forma: Muy bajo, Bajo, Óptimo, Alto y Muy alto.

Cuando el nivel del tanque de recepción se encuentra por debajo del Óptimo, el respectivo microswitch envía una señal eléctrica al tablero de control y potencia (sótano) para

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

energizar las bombas del sótano, esto con el fin de mantener siempre un volumen determinado en los tanques de recepción y total disponibilidad para el consumo.

Dado los modos de operación expuestos hasta ahora, las bombas centrífugas de los sótanos, solo se desenergizan cuando el nivel presente en los tanques de distribución está Muy bajo, o en su defecto, los tanques de recepción presentan un nivel Óptimo o por encima de este.

Para terminar, es importante destacar que el arranque que presentan los motores eléctricos de las bombas es de tipo Estrella-Delta.

3.4.3.3 Levantamiento de la información de campo Máquinas dispensadoras de café y agua

En el edificio Bancolombia se cuenta con 69 dispensadores de agua y 69 de café en ambas torres; están distribuidas en diferentes sectores para facilitar el consumo a los funcionarios y demás personas que laboran en este lugar.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 5

Datos de placa dispensadores de agua.

Marca	Ceasa
Modelo	MSWP700
Voltaje	110 – 120 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia nominal total	600 W
Potencia de calentamiento	500 W
Potencia de refrigeración	85 W
Capacidad de calefacción	2.2 L
Capacidad de enfriamiento	4 L
Refrigerante	R 134a

Tabla 6

Datos de placa dispensadores de café. Fuente: Autores.

Marca	Necta
Modelo	Brio 3
Voltaje	110 – 120 V
Potencia	1500 W
Frecuencia	60 Hz

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3.4.3.4 Funcionamiento actual de las Máquinas Dispensadoras

Las máquinas dispensadoras de café al igual que las de agua, están conectadas a un tomacorriente GFCI que está energizado por un interruptor termomagnético correspondiente a un tablero de energía normal, y el circuito que las alimenta no posee ningún tipo de automatismo eléctrico.

El funcionamiento interno de los dispensadores está descrito en los numerales 2.3.1 y 2.3.2, pero este proyecto se centra en la automatización del circuito que los alimenta. (Ver Figuras 55 Hasta Figura 57)



Figura 55. Tablero de energía normal. Fuente: Elaboración propia



Figura 56. Circuitos de tablero de energía normal. Fuente: Elaboración propia

EDIFICIO SEDE BANCOLOMBIA MEDELLÍN
CUADRO DE CARGAS FACILIDADES ELÉCTRICAS
PISOS TÍPICOS OFICINAS TORRE NORTE

TABLERO: TS-ENOFE2
No. DE FASES: 3
No DE HILOS: 5
DESCRIPCIÓN: TOMACORRIENTES E NORMAL - PF Y OFICINAS TORRE SUR SECTOR E
ACOMETIDA: 1C-(4*2) AWG (F,N), 1C-4 AWG(T) *sdx*

CXT	DESCRIPCIÓN	PROTEC	PROTEC	DESCRIPCIÓN	CXT
1	Tomacorrientes Baños ejecutivos y aseo, ejes 30 - 31	20A	20A	Tomacorrientes UMA #7 y util	2
3	Tomacorrientes Maquinas snacks ejes 29 - 30	20A	20A	Tomacorrientes UMA #6 y util	4
5	Tomacorrientes Maquinas snacks ejes 29 - 30	20A	20A	Tomacorrientes UMA #8 y util	6
7	Tomacorrientes Maquinas snacks ejes 29 - 30	20A	20A	Tomacorrientes Coffe Bar	8
9	Salidas para sensores infrarojos Baño ejecutivos	20A	20A	Tomacorrientes Mueble Recepcion	10
11	Tomacorrientes Baños publicos Mujeres	20A	20A	Tomacorrientes baños publicos Hombres	12
13	Tomacorrientes de uso general cuarto tecnico comunicaciones ejes 28 - 29	20A	20A	Secador de manos baño Hombres	14
15	Tomacorrientes de uso general cuarto tecnico comunicaciones ejes 30 - 31	20A	20A	Reserva equipada	16
17	Allimentación Dampers	20A	20A	Secador de manos baño mujeres	18
19	Lampara de emergencia Tipo Mickey Mouse	20A	20A	Reserva equipada	20
21	Reserva equipada	20A	20A	Reserva equipada	22
23	Reserva equipada	20A	20A	Reserva equipada	24

Figura 57. Cuadro de cargas de tomacorrientes de energía normal. Fuente: Elaboración propia

3.4.3.5 Analizador de Redes Fluke 434-II

Se describen a continuación las características técnicas del equipo utilizado para medir el consumo de energía y calidad de la energía eléctrica para las bombas centrífugas. Consiste en un analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica. Los datos técnicos que se presentan hacen parte del manual de uso Fluke series 434-II/435-II/437-II.

El equipo presenta un conjunto íntegro y potente de medidas para comprobar sistemas de distribución eléctrica. (Ver Figura 58)

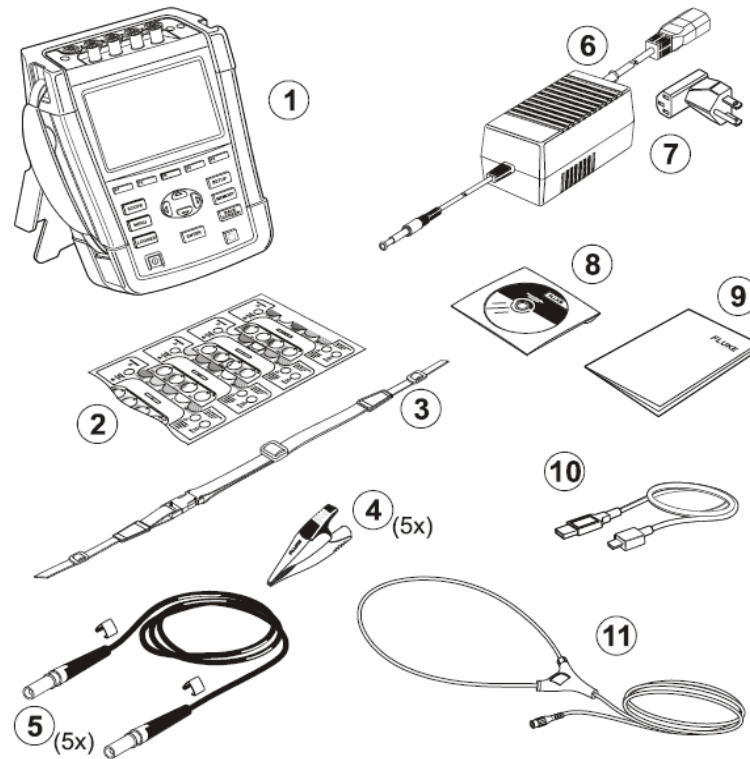


Figura 58. Contenido del kit del analizador. Recuperado de

http://www.ideadigitalcontent.com/files/11095/ID-INS-FLUKE-435-II_BASIC.pdf

- **Conexiones de entrada**

El analizador cuenta con 4 entradas BNC para pinzas amperimétricas y 5 entradas clase banana para tensiones.

Se recomienda desactivar los sistemas de alimentación antes de realizar las conexiones. Utilizar siempre el equipo de protección personal apropiado. También es importante para este tipo de instalaciones no trabajar solo.

Para un sistema trifásico como lo presentan en los motores de las bombas centrífugas, se realiza las conexiones como se muestra en la **Figura 59**.

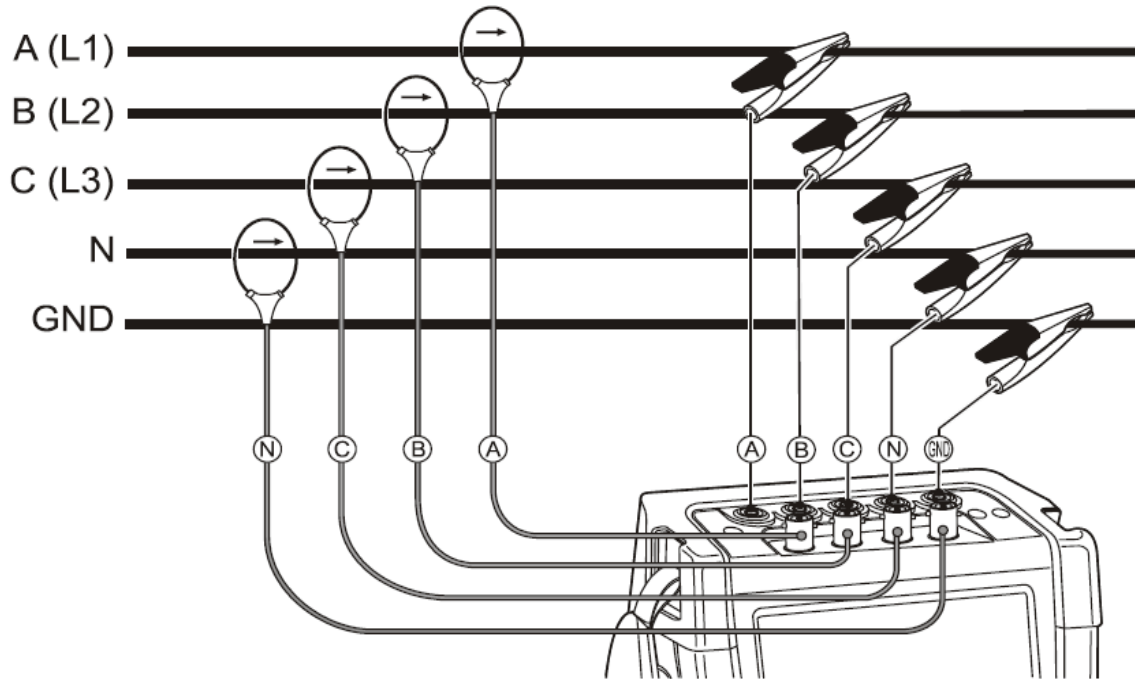


Figura 59. Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico. Recuperado de http://www.ideadigitalcontent.com/files/11095/ID-INS-FLUKE-435-II_BASIC.pdf

Antes de comenzar con la instalación es importante confirmar la polaridad de señal correcta, ésta se encuentra marcada con una flecha en cada pinza. A continuación, se colocan las pinzas amperimétricas alrededor de los conductores de fase tal como se indica en la figura anterior; A (L1), B (L2), C (L3) y N (Neutro).

Se prosigue con las conexiones de tensión: se inicia con la conexión a tierra y, luego, en sucesión N, A(L1), B(L2) y C(L3). Para lograr resultados de medida correctos, se conecta siempre la entrada de conexión a tierra. (Ver Figuras 60 hasta Figura 63)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Antes de realizar medidas, se debe configurar el analizador según la tensión de la línea y la frecuencia. La configuración de los parámetros de medición se explicará en la sección 3.1.4.

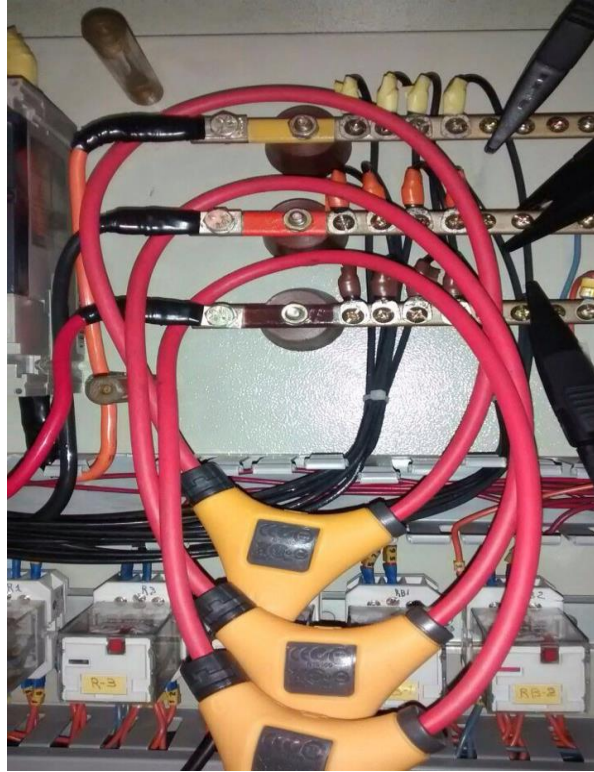


Figura 60. Conexión de las sondas de corriente en el sistema de distribución trifásica de las bombas centrífugas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 61. Montaje general del Analizador de red en el tablero eléctrico de Potencia y Control de las bombas centrífugas. Fuente: Elaboración propia.

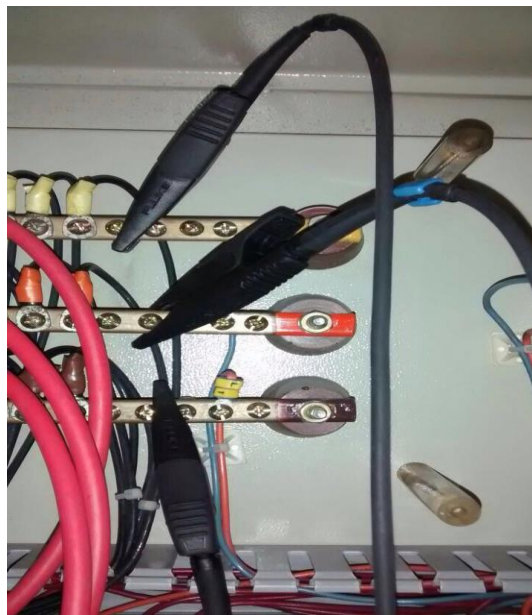


Figura 62. Conexión de las pinzas de cocodrilo con los cables de prueba en el sistema de distribución trifásica de las bombas centrífugas. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 63. Conexión a tierra en el tablero eléctrico de Potencia y Control de las bombas centrífugas. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.6 Medidor Digital de potencia Schneider Electric

las características técnicas del equipo utilizado para medir el consumo de energía y calidad de la energía eléctrica para las máquinas dispensadoras de café y agua, se encuentran en el Anexo 65.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

El medidor digital de potencia Schneider Electric, LCD, 10 dígitos, 3 fases, 90 X 95 mm se utiliza para medir la energía activa consumida por circuitos eléctricos de tipo monofásico, trifásico o trifásico + neutro. El utilizado en este caso para las mediciones de las máquinas dispensadoras hace parte de las series iEM3000 (iEM3110). (Ver figuras 64 y 65)



Figura 64. Medidor digital de potencia Schneider Electric. Recuperado de <http://www.schneider-electric.com.mx/es/product-range/61273-iem3000-series/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 65. Montaje del medidor en Bancolombia. Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Manejo de Datos

En las secciones anteriores se conocieron las características técnicas de cada uno de los equipos y máquinas que integran cada uno de los apartados del proyecto, así como su funcionamiento actual dentro de las instalaciones del banco. Para este caso se anexarán algunas tablas en Excel con las mediciones más relevantes entregadas por el Analizador de Redes 434-II de Fluke para las bombas centrífugas y el medidor digital de potencia Schneider Electric para las máquinas dispensadoras. Estas mediciones son fundamentales porque son la referencia mediante las cuales se busca un mejor diseño basado en un uso eficiente de la energía en estas áreas del banco. Todo proyecto de ingeniería que busque minimizar los gastos energéticos generados en cualquier tipo de industria debe apoyarse necesariamente en estas mediciones; punto fundamental exigido por la auditoría energética. La razón por la cual se pide conocer el funcionamiento actual de los equipos se puede relacionar con la analogía de un médico que antes de recetar las medicinas adecuadas para su paciente debe primero conocer cómo está funcionando su organismo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3.4.4.1 Mediciones Motores Trifásicos

En la sección 3.1.3.5 se conocieron las especificaciones y forma de conexión del analizador de redes Fluke 434-II utilizado para la medición del consumo de energía de los motores eléctricos de las bombas centrífugas. Antes de comenzar con el análisis es importante configurar los parámetros de medición directamente en la pantalla del equipo especificado.

En la Tabla 7 se muestra un resumen de toda la información solicitada en los parámetros de configuración del analizador, como los tiempos de medición, tensión nominal, corriente nominal, frecuencia nominal, entre otros. Los siguientes datos corresponden a los motores eléctricos de las bombas centrífugas ubicados en Torre Norte.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 7

Datos de configuración para el análisis de consumo de energía Motores eléctricos Torre Norte.

Información del instrumento Número de modelo: FLUKE 430-II Número de serie: 23623025 Revisión de firmware: V04.02		Información general Lugar de medida: Bancolombia Dirección General Medellín, Torre Norte Cliente: Notas:	
Información de software Versión de Power Log: 5.1 Versión FLUKE 430-II DLL: 1.1.0.14			
Resumen de medición Topología de medición: 3Ø EN ESTRELLA Modo de aplicación: Registrador Primera medida: 01/03/2016 7:19:20 p. m. 532mseg Última medida: 02/03/2016 7:19:17 p. m. 532mseg Intervalo de grabación: 0h 0m 3s 0mseg Tensión nominal: 440 V Corriente nominal: 300 A Frecuencia nominal: 60 Hz Hora de inicio del archivo: 01/03/2016 7:19:17 p. m. 532mseg Hora de fin del archivo: 02/03/2016 7:19:17 p. m. 532mseg Duración: 1d 0h 0m 0s 0mseg Número de eventos: Normal: 6 Detalle: 0 Eventos descargados: No Número de pantallas: 1 Pantallas descargadas: Sí Método de medición de potencia: Unificado Tipo de cable: Copper Espectro de armónicos: %H1 Modo THD: THD 40 Modo CosPhi / DPF: DPF		Resumen de registros Registros RMS: 28800 Registros DC: 0 Registros de frecuencia: 28800 Registros de desequilibrios: 0 Registros de armónicos: 0 Registros de armónicos de potencia: 0 Registros de potencia: 28800 Registros de desequilibrios de potencia: 0 Registros de energía: 28800 Registros de pérdidas de energía: 0 Registros de parpadeos: 0 Registros de señalización de la red principal: 0	
		Resumen de eventos Caídas de tensión: 0 Subidas de tensión: 0 Transitorios: 0 Interrupciones: 0 Perfiles de tensión: 0 Variaciones rápidas de tensión: 0 Pantallas: 1 Formas de onda: 0 Intervalos sin mediciones: 0 Gráficos de corriente de arranque: 0 Eventos de onda: 0 Eventos RMS: 0	

Nota: Tomado de los datos obtenidos y guardados por el software Power Log 5.1

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 8

Datos de configuración para el análisis de consumo de energía Motores eléctricos Torre Sur.

Información del instrumento Número de modelo: FLUKE 430-II Número de serie: 23623025 Revisión de firmware: V04.02		Información general Lugar de medida: <input type="text" value="Bancolombia Dirección General Medellín. Torre Sur"/>	
Información de software Versión de Power Log: 5.1 Versión FLUKE 430-II DLL: 1.1.0.14		Cliente: <input type="text"/> Notas: <input type="text"/>	
Resumen de medición Topología de medición: 3Ø EN ESTRELLA Modo de aplicación: Registrador Primera medida: 29/02/2016 5:26:11 p. m. 629mseg Última medida: 01/03/2016 5:26:08 p. m. 629mseg Intervalo de grabación: 0h 0m 3s 0mseg Tensión nominal: 440 V Corriente nominal: 300 A Frecuencia nominal: 60 Hz Hora de inicio del archivo: 29/02/2016 5:26:08 p. m. 629mseg Hora de fin del archivo: 01/03/2016 5:26:08 p. m. 629mseg Duración: 1d 0h 0m 0s 0mseg Número de eventos: Normal: 4 Detalle: 0 Eventos descargados: No Número de pantallas: 1 Pantallas descargadas: Sí Método de medición de potencia: Unificado Tipo de cable: Copper Espectro de armónicos: %H1 Modo THD: THD 40 Modo CosPhi / DPF: DPF		Resumen de registros Registros RMS: 28800 Registros DC: 0 Registros de frecuencia: 28800 Registros de desequilibrios: 0 Registros de armónicos: 0 Registros de armónicos de potencia: 0 Registros de potencia: 28800 Registros de desequilibrios de potencia: 0 Registros de energía: 28800 Registros de pérdidas de energía: 0 Registros de parpadeos: 0 Registros de señalización de la red principal: 0	
		Resumen de eventos Caídas de tensión: 0 Subidas de tensión: 0 Transitorios: 0 Interrupciones: 0 Perfiles de tensión: 0 Variaciones rápidas de tensión: 0 Pantallas: 1 Formas de onda: 0 Intervalos sin mediciones: 0 Gráficos de corriente de arranque: 0 Eventos de onda: 0 Eventos RMS: 0	

Nota: Tomado de los datos obtenidos y guardados por el software Power Log 5.1

Para la presente auditoría se consignan en tablas en Excel (ver tablas 9 y 10), algunas variables fundamentales que servirán para realizar un análisis más completo en los próximos capítulos. Cabe destacar que estos valores corresponden a los valores máximos de cada una de las fases de los motores eléctricos. Se consideran, por tanto, en primera instancia conocer los valores máximos de la potencia activa, aparente y reactiva para diferentes tiempos de operación, así como el consumo total de la Energía activa durante el tiempo en que se estuvo analizando su funcionamiento. Si bien en la configuración inicial se estableció para adquirir datos cada tres segundos, esto constituye un trabajo arduo e innecesario como informe final para el presente proyecto, por lo que se ha decidido

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

consignar los valores obtenidos cada dos horas, prestando mayor interés a aquellos en donde se tiene una mayor intensidad laboral. Resaltado en amarillo se muestran los valores en los que se obtuvo un mayor consumo y por consiguiente mayor trabajo por parte de las bombas; tal como se previó, entre las 12 del día y 6 de la tarde es cuando mayor consumo se presenta, así como al inicio de la jornada laboral, 6 y 30 de la mañana aproximadamente.

Tabla 9

Consumo de energía en Bombas Centrífugas, Torre Norte. Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G
1	CONSUMO DE ENERGIA EN BOMBAS CENTRÍFUGAS VALORES MÁXIMOS						
2	UBICACIÓN	FECHA/HORA	TOTAL POTENCIA ACTIVA 3φ kW	TOTAL POTENCIA APARENTE 3φ kVA	TOTAL POTENCIA REACTIVA 3φ Kvar	CONSUMO TOTAL EN kWh	COSTO MENSUAL EN PESOS
3	TORRE NORTE	01/03/2016 7:20 p.m	13,1	16,8	10,6	102,0	840519,16
4		01/03/2016 9:03 p.m	0,1	0,4	0,1		
5		01/03/2016 11:03 p.m	0,1	0,5	0,1		
6		02/03/2016 1:02 a.m	0,1	0,3	0,1		
7		02/03/2016 3:02 a.m	0,0	0,4	0,1		
8		02/03/2016 6:27 a.m	12,6	14,7	7,5		
9		02/03/2016 7:06 a.m	0,1	0,3	0,1		
10		02/03/2016 9:00 a.m	0,1	0,3	0,1		
11		02/03/2016 11:03 a.m	0,0	0,4	0,1		
12		02/03/2016 12:15 p.m	13,1	16,2	9,6		
13		02/03/2016 1:05 p.m	13,1	16,3	9,7		
14		02/03/2016 2:04 p.m	13,1	16,0	9,3		
15		02/03/2016 3:02 p.m	12,5	14,5	7,3		
16		02/03/2016 5:04 p.m	13,1	16,5	10,2		
17		02/03/2016 6:03 p.m	13,2	17,1	11,0		
18		02/03/2016 7:03 p.m	0,1	0,4	0,1		
19		02/03/2016 7:19 p.m	0,1	0,4	0,1		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 10

Consumo de energía en Bombas Centrífugas, Torre Sur. Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G
1	CONSUMO DE ENERGIA EN BOMBAS CENTRÍFGUAS VALORES MÁXIMOS						
2	UBICACIÓN	FECHA/HORA	TOTAL POTENCIA ACTIVA 3ø kW	TOTAL POTENCIA APARENTE 3ø kVA	TOTAL POTENCIA REACTIVA 3ø Kvar	CONSUMO TOTAL EN kWh	COSTO MENSUAL EN PESOS
3	TORRE SUR	29/02/2016 5:31 p.m	14,6	20,7	14,8	45,2	372785,66
4		29/02/2016 7:00 p.m	0,1	0,4	0,1		
5		29/02/2016 9:00 p.m	0,1	0,4	0,1		
6		29/02/2016 11:04 p.m	0,1	0,4	0,1		
7		01/03/2016 1:06 a.m	0,1	0,4	0,1		
8		01/03/2016 3:03 a.m	0,1	0,4	0,1		
9		01/03/2016 5:02 a.m	0,1	0,4	0,1		
10		01/03/2016 6:33 a.m	13,9	19,7	14,0		
11		01/03/2016 8:07 a.m	0,1	0,3	0,1		
12		01/03/2016 10:01 a.m	0,1	0,4	0,1		
13		01/03/2016 12:11 p.m	0,1	0,3	0,1		
14		01/03/2016 12:32 p.m	13,9	19,2	13,2		
15		01/03/2016 2:24 p.m	13,9	18,9	12,8		
16		01/03/2016 4:15 p.m	14,0	19,9	14,2		
17		01/03/2016 5:05 p.m	14,1	20,0	14,3		
18	01/03/2016 5:26 p.m	0,1	0,5	0,1			

Para calcular el costo mensual que corresponde únicamente al área de las bombas centrífugas en el edificio de Bancolombia, es necesario conocer el costo de la energía activa por kWh, el cual se encuentra para la entidad a \$317/kWh. De esta forma, y a de acuerdo a las tablas anteriores, el costo total mensual para esta área del edificio se estima aproximadamente en:

$$Total\ costo\ mensual_{Bombas\ Centrífugas} = Costo\ Torre\ Norte + Costo\ Torre\ Sur$$

$$Total\ costo\ mensual_{Bombas\ Centrífugas} = 840519,16 + 372785,66$$

$$Total\ costo\ mensual_{Bombas\ Centrifguas} = \$1'213.304,82$$

La razón por la cual el consumo total de la energía activa es mayor en Torre Norte que en Torre Sur se debe a que en la primera edificación se cuenta con un sistema de refrigeración tipo Chiller y un conjunto de torres de enfriamiento en el piso 12 y por tanto demandan de un mayor consumo de agua para su operación, a parte del uso para consumo por parte del

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

personal. Esto lleva evidentemente a un mayor trabajo por parte de las bombas de dicha zona y a generar un gasto considerable.

3.4.4.2 Mediciones de consumo de energía en Máquinas dispensadoras

En esta sección se presentan los datos adquiridos mediante la medición del consumo de la energía y calidad de la energía eléctrica para las máquinas dispensadoras de café y agua. Todos los datos corresponden exclusivamente al consumo de la energía activa en kWh, que para la entidad se factura como se explicó a \$317/kWh.

Tabla 11

Consumo de energía en máquinas dispensadoras. Ejes 1, 3, 7 y 12. Fuente: Elaboración propia

	A	B	C	D	E	F
1	CONSUMO DE ENERGIA DE DISPENSADORES DE AGUA Y CAFÉ					
2	UBICACIÓN	CONSUMO EN kWh DE 6 A 18 HORAS	CONSUMO EN kWh DE 18 A 6 HORAS	CONSUMO EN kWh POR DIA	CONSUMO EN kWh DE LUN. A LAS 6 HASTA VIE. A LAS 18	CONSUMO EN kWh DE VIE. A LAS 18 HASTA LUN. A LAS 6
3	EJE 7 SOTANO	4,0	2,8	6,8	31,2	14,0
4	EJE 1 PRIMER PISO	2,5	1,8	4,3	19,7	9,0
5	EJE 3 PRIMER PISO	2,4	2,1	4,5	20,4	10,5
6	EJE 1 MEZANINE	3,2	2,2	5,4	24,8	11,0
7	EJE 7 MEZANINE	3,1	1,8	4,9	22,7	9,0
8	EJE 12 MEZANINE	2,1	1,2	3,3	15,3	6,0
9	EJE 1 PISO 6	1,9	1,5	3,4	15,5	7,5
10	EJE 1 PISO 7	3,1	2,0	5,1	23,5	10,0
11	EJE 1 PISO 8	3,0	1,7	4,7	21,8	8,5
12	EJE 1 PISO 9	2,9	1,8	4,7	21,7	9,0
13	EJE 1 PISO 10	3,1	2,0	5,1	23,5	10,0
14	EJE 1 PISO 11	3,2	2,1	5,3	24,4	10,5

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 12

Consumo de energía en máquinas dispensadoras, Punto fijo 1. Fuente: Elaboración propia

	UBICACIÓN	CONSUMO EN kWh DE 6 A 18 HORAS	CONSUMO EN kWh DE 18 A 6 HORAS	CONSUMO EN kWh POR DIA	CONSUMO EN kWh DE LUN. A LAS 6 HASTA VIE. A LAS 18	CONSUMO EN kWh DE VIE. A LAS 18 HASTA LUN. A LAS 6
2						
3	PUNTO FIJO 1 PISO 5	4,2	3,3	7,5	34,2	16,5
4	PUNTO FIJO 1 PISO 6	4,7	3,6	5,3	22,9	18,0
5	PUNTO FIJO 1 PISO 7	5,4	3,9	9,3	42,6	19,5
6	PUNTO FIJO 1 PISO 8	6,7	3,2	9,9	46,3	16,0
7	PUNTO FIJO 1 PISO 9	6,0	2,9	8,9	41,6	14,5
8	PUNTO FIJO 1 PISO 10	5,8	3,3	9,1	42,2	16,5
9	PUNTO FIJO 1 PISO 11	6,3	3,4	9,7	45,1	17,0

Tabla 13

Consumo de energía en máquinas dispensadoras, Ejes 16 y 17. Fuente: Elaboración propia

	UBICACIÓN	CONSUMO EN kWh DE 6 A 18 HORAS	CONSUMO EN kWh DE 18 A 6 HORAS	CONSUMO EN kWh POR DIA	CONSUMO EN kWh DE LUN. A LAS 6 HASTA VIE. A LAS 18	CONSUMO EN kWh DE VIE. A LAS 18 HASTA LUN. A LAS 6
2						
3	EJE 16 PISO 5	4,5	2,0	6,5	30,5	10,0
4	EJE 16 PISO 6	3,9	1,8	5,7	26,7	9,0
5	EJE 16 PISO 7	3,5	1,5	5,0	23,5	7,5
6	EJE 16 PISO 8	3,8	1,4	5,2	24,6	7,0
7	EJE 16 PISO 9	3,5	1,5	5,0	23,5	7,5
8	EJE 16 PISO 10	3,9	1,2	5,1	24,3	6,0
9	EJE 16 PISO 11	3,5	1,4	4,9	23,1	7,0
10	EJE 17 PISO 5	3,1	1,9	5,0	23,1	9,5
11	EJE 17 PISO 6	2,5	1,3	3,8	17,7	6,5
12	EJE 17 PISO 7	2,1	0,9	3,0	14,1	4,5
13	EJE 17 PISO 8	3,1	2,4	5,5	25,1	12,0
14	EJE 17 PISO 9	2,6	1,1	3,7	17,4	5,5
15	EJE 17 PISO 10	2,4	1,3	3,7	17,2	6,5
16	EJE 17 PISO 11	2,6	1,2	3,8	17,8	6,0

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 14

Consumo de energía en máquinas dispensadoras, Puntos fijos 2, 3, Totales y costo mensual en Pesos Colombianos. Fuente: Elaboración propia

	A	B	C	D	E	F
	UBICACIÓN	CONSUMO EN kW/h DE 6 A 18 HORAS	CONSUMO EN kW/h DE 18 A 6 HORAS	CONSUMO EN kW/h POR DIA	CONSUMO EN kW/h DE LUN. A LAS 6 HASTA VIE. A LAS 18	CONSUMO EN kW/h DE VIE. A LAS 18 HASTA LUN. A LAS 6
3	PUNTO FIJO 2 MEZANINE	2,7	1,3	4,0	18,7	6,5
4	PUNTO FIJO 2 PISO 5	3,7	1,9	5,6	26,1	9,5
5	PUNTO FIJO 2 PISO 6	4,8	2,3	7,1	33,2	11,5
6	PUNTO FIJO 2 PISO 7	4,0	3,2	5,2	22,8	16,0
7	PUNTO FIJO 2 PISO 8	4,9	3,0	7,9	36,5	15,0
8	PUNTO FIJO 2 PISO 9	5,2	3,3	8,5	39,2	16,5
9	PUNTO FIJO 2 PISO 10	4,8	3,3	8,1	37,2	16,5
10	PUNTO FIJO 2 PISO 11	4,2	3,2	7,4	33,8	16,0
11	PUNTO FIJO 3 PISO 5	3,1	1,6	4,7	21,9	8,0
12	PUNTO FIJO 3 PISO 6	4,3	2,8	7,1	32,7	14,0
13	PUNTO FIJO 3 PISO 7	3,3	1,6	4,9	22,9	8,0
14	PUNTO FIJO 3 PISO 8	3,3	1,4	4,7	22,1	7,0
15	PUNTO FIJO 3 PISO 9	3,6	2,9	6,5	29,6	14,5
16	PUNTO FIJO 3 PISO 10	3,7	2,0	5,7	26,5	10,0
17	PUNTO FIJO 3 PISO 11	3,4	3,2	6,6	29,8	16,0
18						
19	TOTALES	177,6	104,5	277,1	1281,0	522,5
20	COSTO MENSUAL EN PESOS	2286838				

$Total\ costo\ mensual_{AMBAS\ ÁREAS} = Costo\ Bombas\ C. + Costo\ Máquinas\ Disp.$

$Total\ costo\ mensual_{AMBAS\ ÁREAS} = 1213304,82 + 2286838$

$Total\ costo\ mensual_{AMBAS\ ÁREAS} = \$3'500.142,82$

Con base a los resultados obtenidos en la presente auditoría se comenzará a proporcionar soluciones como propuesta de diseño de ahorro energético mediante el cumplimiento de todos los objetivos convenidos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4. METODOLOGÍA

En la sesión 3.4.3 Levantamiento de Campo referente al capítulo de Auditoría energética, se repasaron los aspectos más importantes y generales del funcionamiento actual de los equipos. También se conocieron del mismo capítulo los datos más relevantes de las mediciones eléctricas efectuadas en cada una de las áreas. Esta documentación es importante porque con base en esto se desarrollará el programa de actividades de ahorro energético; esto implica, desde luego, la modificación total o parcial de componentes, instrumentación, tiempos y modos de operación.

La presente sesión inicia con una introducción general del sistema de control y potencia eléctrica de cada uno de los equipos que conforman las áreas del proyecto, respetando el orden como se ha venido haciendo desde el principio, primero para la zona de Bombas Centrífugas y luego para las Máquinas dispensadoras. La razón por la que se planea iniciar de esta forma se hace con el objetivo de presentar un marco general en el que se evidencie a manera de archivo el antes y después del diseño de programa de ahorro energético en el banco.

Se continúa con el estudio del variador de frecuencia (también denominados convertidores) Micromaster 440 de Siemens y sus ventajas frente al arrancador Estrella-Triángulo, así como la presentación y explicación detallada de los parámetros de configuración y conexión eléctrica. Se pasará luego a desarrollar la automatización por medio del controlador lógico programable (PLC) por medio del software Simatic Step7 de Siemens y los diagramas de conexión eléctrica final para el área de las bombas centrífugas.

Se finaliza este capítulo introduciendo el sistema eléctrico actual para las Máquinas dispensadoras y su posterior rediseño por medio de la automatización del sistema de alimentación eléctrica por medio del PowerLink G3 y los diagramas de conexión final.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

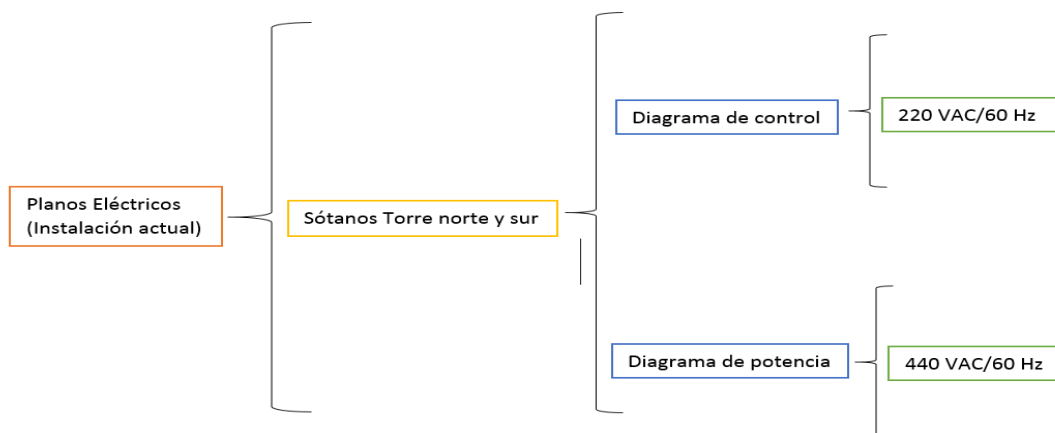
4.1 Sistema de Control y Potencia eléctrica

Bombas Centrífugas

En este apartado se describen los componentes de maniobra que hacen parte del sistema de control de los motores eléctricos trifásicos de las bombas, así como los de potencia. Como se había mencionado antes, se anexan los diferentes diagramas eléctricos que describen el montaje actual en las instalaciones donde se ubican estos equipos: Sótanos, torre norte y torre sur.

4.1.1 Planos de conexión eléctrica de control y potencia

Los planos que se muestran a continuación corresponden a las bombas centrífugas de 15 hp ubicadas en el sótano de torre norte. Cortesía de los planos del Ing. John A. Ortega.



Cuadro 5. Distribución por potencia de las bombas centrífugas en el edificio. Fuente: Elaboración propia.

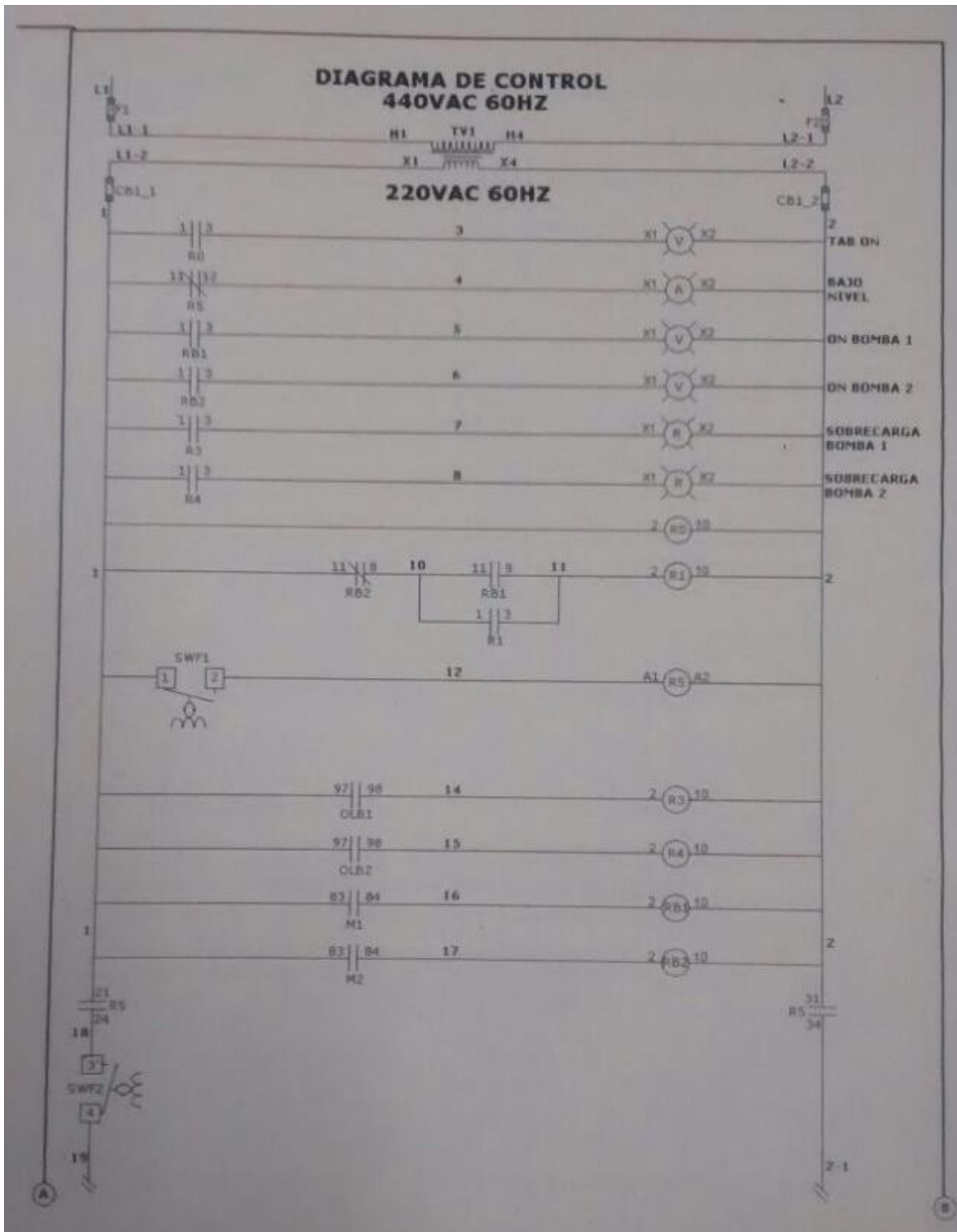


Figura 66. Diagrama de Control. Fuente: (Ortega, 2016).

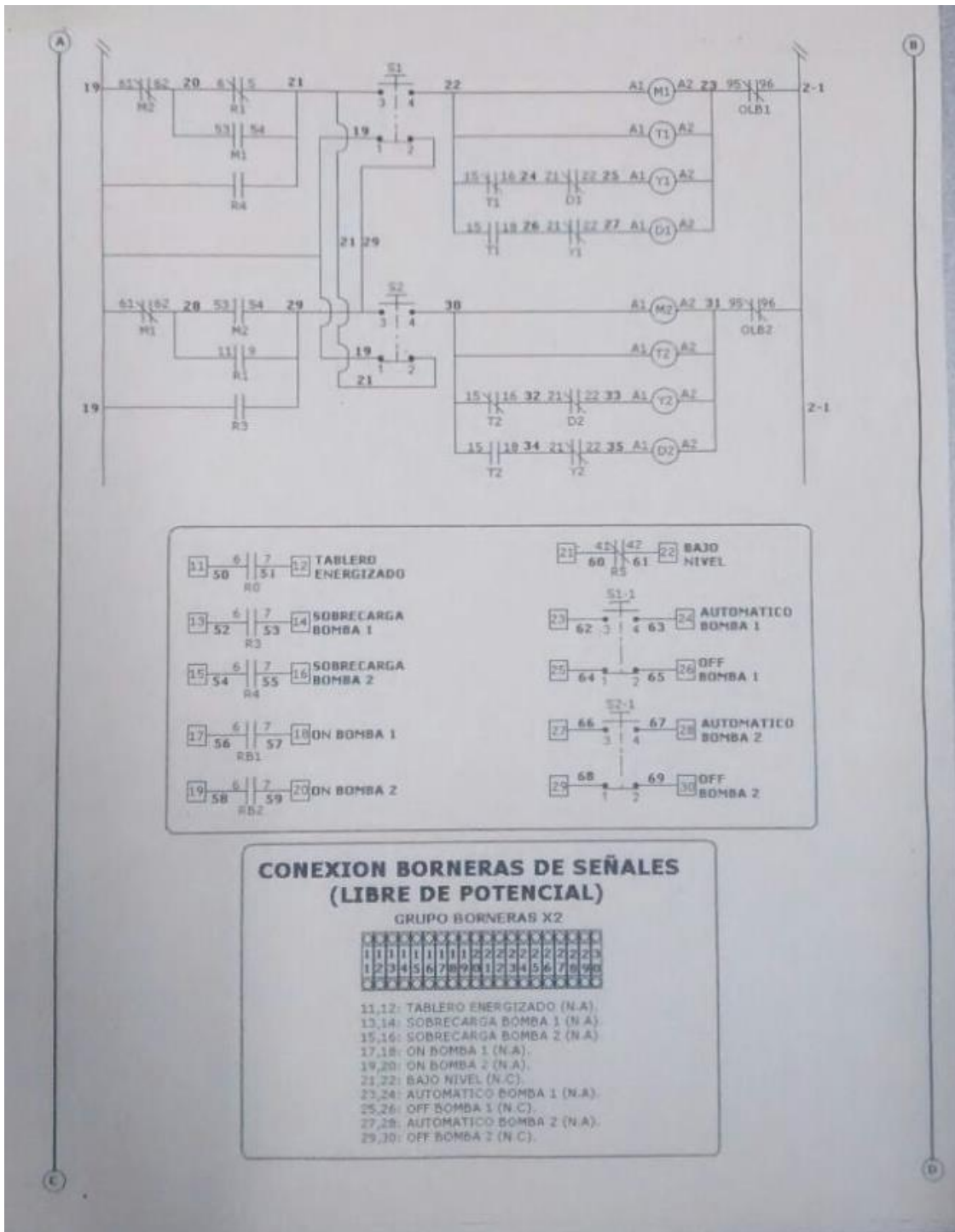


Figura 67. Diagrama de Control Estrella-Triángulo y Conexión Borneras de señales. Fuente: (Ortega, 2016).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 68. Conexiones borneras de control y borneras portafusibles. Fuente: (Ortega, 2016).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

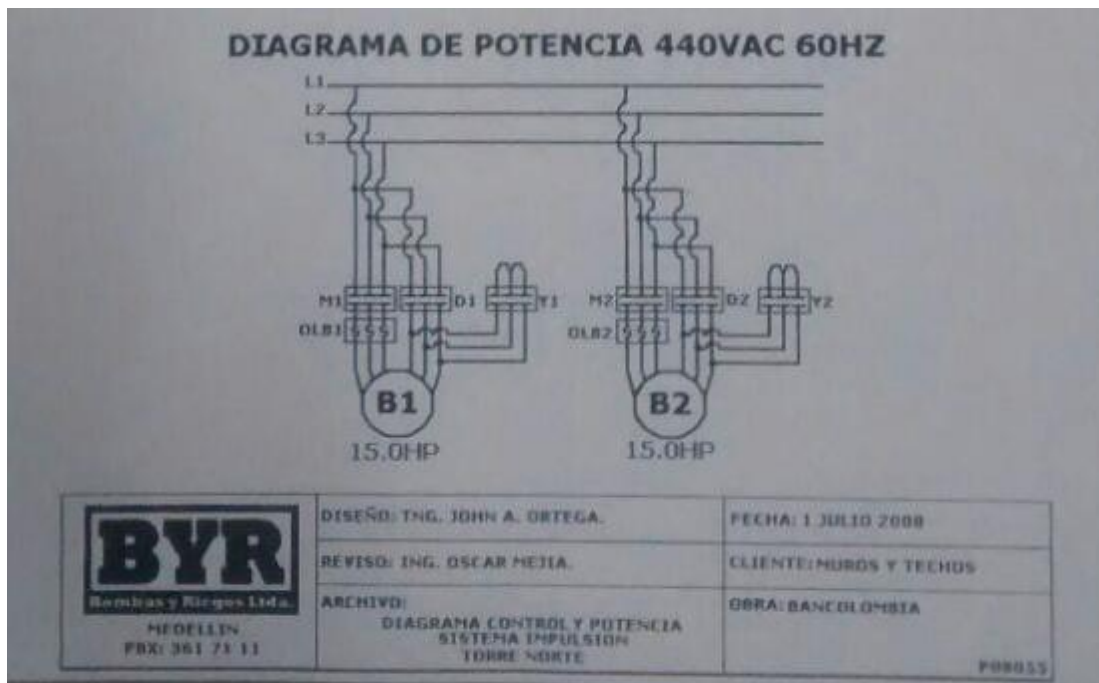


Figura 69. Diagrama de Potencia Estrella-Triángulo. Fuente: (Ortega, 2016)

4.1.2 Sistema de Control

En la tabla 14 se anexan los elementos que conforman el sistema de control expuestos en las figuras 66 y 67.

Tabla 15

Componentes del sistema de control Bombas Centrífugas. Fuente: Elaboración propia

Símbolo	Componente
L1_1 y L2_1	Alimentación a 440 V
L1_2 y L2_2	Línea a 220 V
F1 y F2	Fusibles en líneas a 440 V
TV1	Transformador de potencia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

CB1_1 y CB1_2	Fusibles en líneas a 220 V
R0, R5, RB1, RB2, R3 y R4	Contactos de relés
R0	TAB ON (Tablero encendido)
R5	Bajo Nivel
RB1	ON BOMBA_1
RB2	ON BOMBA_2
R3	SOBRECARGA BOMBA_1
R4	SOBRECARGA BOMBA_2
R1	Contacto de Relevo entre bombas
X1_X2	Pilotos Indicadores
SWF1	Flotador de Nivel Bajo
SWF2	Flotador de Nivel Óptimo
M1	Contactos de contactor normal 1
M2	Contactos de contactor normal 2
OLB1	Contacto relé térmico Sobrecarga Bomba 1
OLB2	Contacto relé térmico Sobrecarga Bomba 2
R1, R5, R3, R4, RB1, RB2 (En círculos)	Bobinas de los relés
S1 y S2	Selectores
T1 y T2	Temporizadores
Y1 y Y2	Contactador en Estrella (Para cada motor)
D1 y D2	Contactador en Delta (Para cada motor)
M1 y M2 (En círculos)	Contactador Normal (Para cada motor)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Operación**

En este apartado se presenta de forma detallada el modo de funcionamiento de cada uno de los elementos de control.

La alimentación general viene dada por 440 VAC a una frecuencia de la red a 60 Hz. Se cuenta con un transformador de potencia que reduce el voltaje a 220 VAC (110 en cada línea) para el sistema de control. Todos los sistemas de control deben operar a un voltaje menor por seguridad. Tanto la línea de 440 VAC como la de 220 VAC cuentan con dispositivos de protección en caso de cortocircuito (F1 y F2 para la línea de 440 VAC. CB1_1 y CB1_2 para la línea de 220 VAC). Es importante advertir que las bombas centrífugas solo deben funcionar siempre y cuando el nivel en los tanques de recepción se encuentre por encima del nivel bajo; y para cumplir con esta condición se ha dispuesto en cada línea de 110 VAC del sistema de control los contactos normalmente abiertos R5 (Bajo Nivel). Cuando el nivel en los tanques se encuentra por debajo de este nivel, R5 abre 2 de sus contactos cerrados en ambas líneas, evitando que las bombas operen en vacío. De acuerdo al diagrama de las figuras 66 y 67 se puede describir el funcionamiento del sistema de control en dos secciones. La primera sección consta de señales de advertencia o pilotos indicadores. De acuerdo al diagrama las filas 3, 4, 5, 6, 7 y 8 agrupan los relés R0, R5, RB1, RB2, R3 y R4 con sus respectivos pilotos indicadores (TAB ON, BAJO NIVEL, ON BOMBA 1, ON BOMBA 2, SOBRECARGA BOMBA 1 Y SOBRECARGA BOMBA 2).

En la segunda sección se encuentran las condiciones necesarias para activar la bobina de cada relé según sea el caso.

Las bombas centrífugas de ambos sótanos de las torres operan de manera alternativa. La condición que permite este modo de funcionamiento se presenta en el segmento 10 del diagrama de control, donde R1 cumple esa función cambiando el estado de un contacto abierto y otro cerrado (ver figura 66). En el segmento 12 del mismo plano se encuentra la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

condición para el flotador (SWF1) de nivel bajo con la respectiva bobina del relé. En los segmentos 14 y 15 se encuentran dos contactos abiertos para los relés térmicos (OLB1 y OLB2) en caso de que se presente sobrecarga en los motores eléctricos de las bombas. En los segmentos 16 y 17 los contactos del Normal (M1 y M2) permiten energizar los relés que indican el estado de las bombas centrífugas (ON BOMBA_1 y ON BOMBA_2). SWF2 (Flotador de nivel óptimo) se encuentra como condición necesaria para energizar las bombas en caso de que el nivel en los tanques de distribución se encuentre por debajo del nivel óptimo. (Ver Funcionamiento actual del Sistema de Bombeo del capítulo 3).

El plano de la figura 69 corresponde al modo de funcionamiento de las bombas, respetando la condición de operar solo una en cada caso y nunca ambas al mismo tiempo.

4.1.3 Sistema de Potencia

El sistema existente que permite operar a cada una de las bombas centrífugas se basa en un sistema convencional de potencia. Como método de arranque para los motores eléctricos se cuenta con un arrancador Estrella-Delta. Estos son los elementos que integran al sistema de potencia de acuerdo a la figura 69 (Aplica para ambos sótanos).

- Motores trifásicos asíncronos (B1 y B2)
- Protectores térmicos por sobrecarga (OLB1 y OLB2)
- Arranque normal del motor (M1 y M2)
- Conexión en Delta (D1 y D2)
- Conexión en Estrella o Triángulo (Y1 y Y2)

Conexión Estrella-Delta

Cuando un motor se conecta directamente a la red eléctrica se puede obtener altas corrientes de arranque (corriente de sobrecarga) y estas pueden causar caídas en la tensión

de la red. Con el arranque directo se crea un estrés térmico en los devanados del motor, esto con el tiempo, reduce su vida útil.

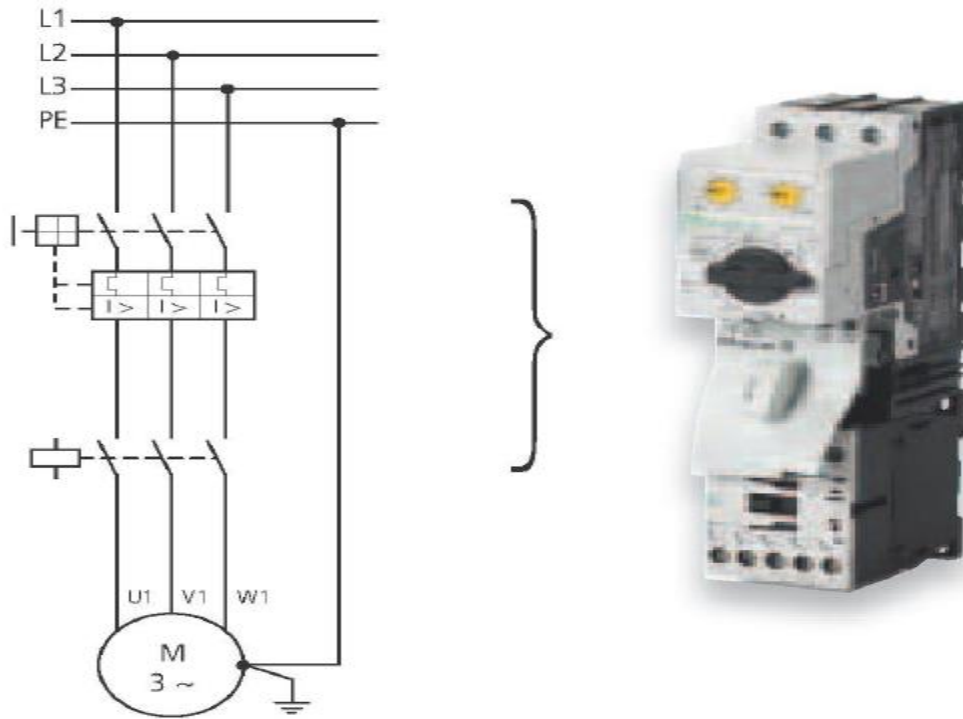


Figura 70. Modo de conexión para un arranque directo. Recuperado de www.eatonelectric.es

La conexión Estrella-Delta es el método de arranque más común aplicado a motores trifásicos asíncronos. Su objetivo es proteger al motor de las altas corrientes que se producen en el momento del arranque, las cuales pueden presentar valores de entre 5 y 7 veces la corriente nominal del motor. En la figura 69 referente al sistema de potencia se puede apreciar la conexión típica del arranque Estrella-Delta para cada uno de los motores trifásicos de las bombas centrífugas.

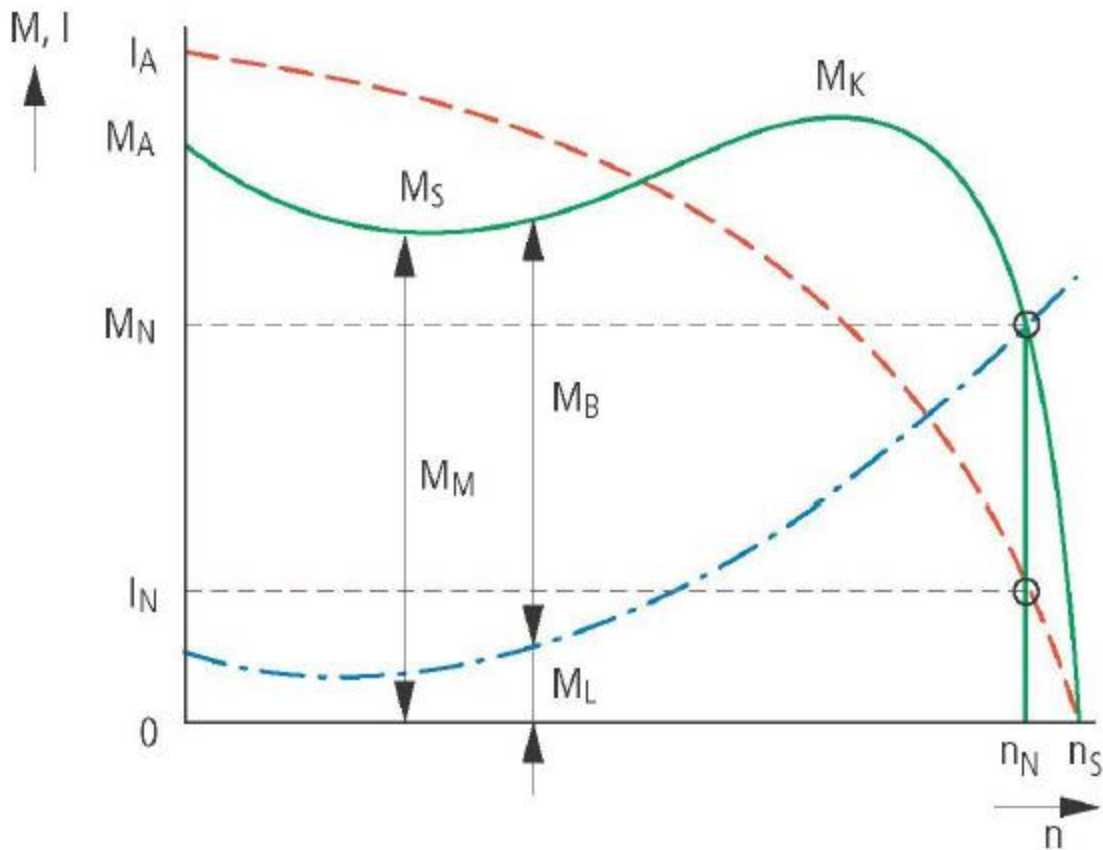


Figura 71. Curva característica del arranque de un motor trifásico asíncrono. Recuperado de www.eatonelectric.es/, Junio de 2016

I_A = Intensidad de arranque

I_N = Intensidad nominal en el punto de trabajo

M_A = Par de arranque

M_B = Par de aceleración ($M_M > M_L$)

M_K = Máximo valor del par

M_L = Par de la carga

M_M = Par del motor (punto de trabajo)

M_N = Par nominal de la carga

n = Velocidad (valor actual)

n_N = Velocidad nominal en el punto de trabajo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$N_S = \text{Velocidad de sincronización}$

$(n_S - n_N = \text{Velocidad de deslizamiento})$

La conexión en Estrella, la tensión de red (L_{SN}) de cada uno de los devanados individuales del motor se reduce por un factor de $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (~ 0.58). Por ejemplo, en el caso de los motores trifásicos del edificio:

$$460 \text{ V} * \frac{1}{\sqrt{3}} = 265 \text{ V}$$

En la figura 72 se observa cómo en cada uno de los devanados (A, B y C) del motor trifásico de 15 hp de torre norte se obtiene una tensión de red (L_{SN}) de $\sim 265 \text{ V}$. La figura es tomada directamente del software PowerLog 430-II y corresponde a las mediciones efectuadas por el analizador de redes Fluke 434-II descrito en el capítulo 3 de Auditoría Energética, sesión 3.4.3.5.



Figura 72. Medición de Tensión, (Torre norte), de 12:29 pm a 12:51 pm. Analizador de redes Fluke 434-II. Fuente: Elaboración propia.

Con el cambio de conexión de Estrella a Delta, la intensidad cae a cero y la velocidad del motor se reduce en función de la carga. El cambio a Delta produce un aumento significativo de la corriente, así como la aplicación de toda la tensión de red en los devanados del motor. El par motor también aumenta a un valor más alto durante el periodo de la transición, lo que provoca una carga adicional sobre todo el sistema. En el caso de las bombas que funcionan con este tipo de arranque, a menudo se utiliza un freno mecánico con el fin de proveer un amortiguamiento en el sistema y evitar lo que se denomina “golpes de ariete”.

La transición automática de Estrella a Delta se realiza mediante un relé temporizador en el contactor de línea (T1 y T2, dentro de los elementos de control). El tiempo necesario para el arranque en Estrella depende de la carga del motor y debe proseguir hasta que el motor haya alcanzado cerca del 75 al 80% de su velocidad de funcionamiento (n_N) con el fin de asegurar la aceleración posterior necesaria para el cambio a Delta.

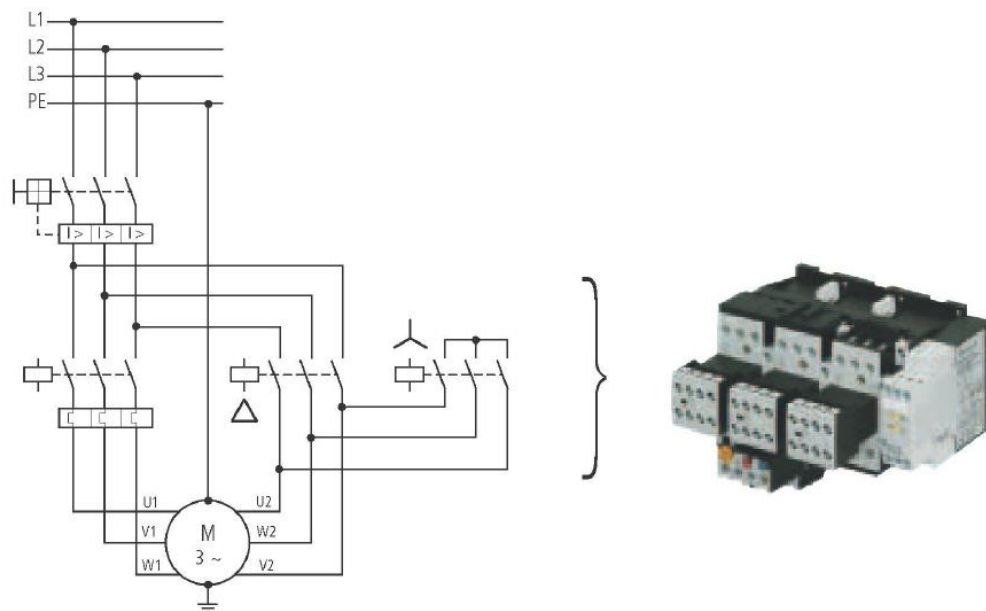


Figura 73. Modo de conexión para un arranque estrella-delta. Recuperado de

www.eatonelectric.es

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

“El principal problema de este arranque es la interrupción de la alimentación del motor en la mitad del arranque, entre la desconexión del contactor Y1 o Y2 (estrella) y la conexión del contactor D1 o D2 (triángulo). En éste intervalo de tiempo la pendiente en el arranque se vuelve negativa, es decir, el motor pasa de estar acelerando a estar desacelerando para que, al cabo de un instante, al conectar el D1 triángulo, vuelva a acelerar. Esto provoca un sobre pico de intensidad, al igual que provoca una disminución de la vida útil del motor al estar sometido periódicamente a tantos sobre picos de intensidad de mayor magnitud. En el momento en que conectamos el contactor Y1 estrella también provocamos un sobre pico de intensidad inferior, con lo cual en el periodo de éste arranque producimos dos sobre picos”. (Martínez, 2013, p.21).

Los resultados obtenidos en las mediciones del consumo eléctrico de las bombas centrífugas por medio del analizador de redes Fluke 434-II se puede confirmar la deducción del estudio realizado por Martínez, C. En la figura 74 se verifica los sobre picos de intensidad de mayor magnitud (resaltados en rojo) en el momento del arranque del motor y para diferentes periodos de operación de las bombas.

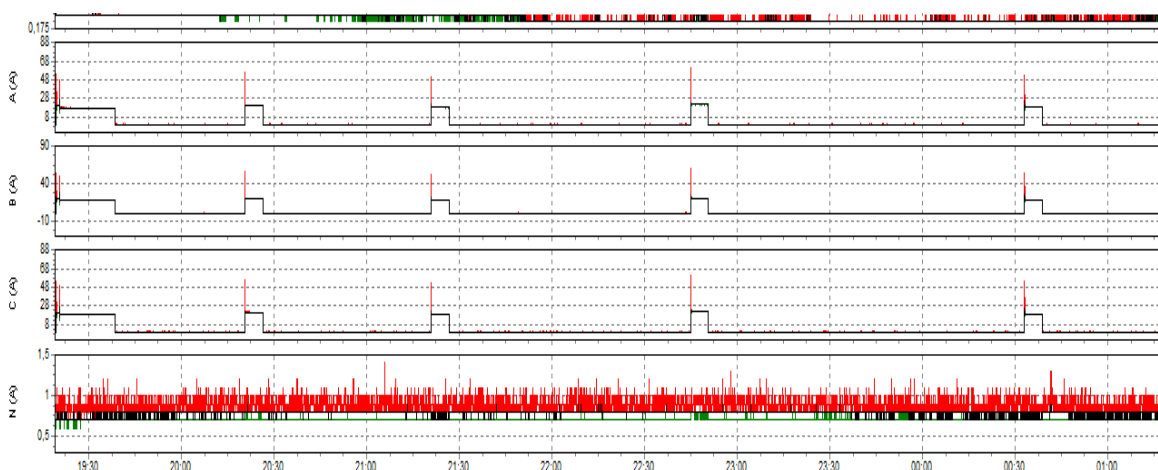


Figura 74. Medición de Intensidad, (Torre norte), de 7:30 pm a 1:00 am. Analizador de redes Fluke 434-II. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

En la figura 74, el eje de las abscisas corresponde a los tiempos de operación de las bombas, en este caso se ha tomado de entre las 19:30 h y la 1:00 h. En el eje de las ordenadas se disponen las tres fases del motor más el neutro (A, B, C y N).

En el momento del arranque del motor se advierte una sobre intensidad producida por el arrancador Estrella-Delta, que en el caso de que fuera un arranque directo, dicha sobre intensidad sería mucho mayor; generalmente tendría una corriente de arranque (I_A) normal hasta 8 veces la corriente nominal y un par de arranque (M_A) normal.

El par de arranque y la corriente de entrada se reduce a $\frac{1}{3}$ de los valores de la conexión en delta.

Debido a la reducción del par en el arranque, la conexión en Estrella-Delta solo es apropiada para equipos con un par de carga baja (M_L) que aumenta con la velocidad como en el caso de bombas y ventiladores.

En la figura 75 se comienza a observar una mayor actividad en la operación de las bombas, teniendo en cuenta que corresponden a horarios de mayor actividad laboral en el edificio. Las intensidades leídas corresponden a operaciones de entre las 8:45 am hasta las 11:30 am.

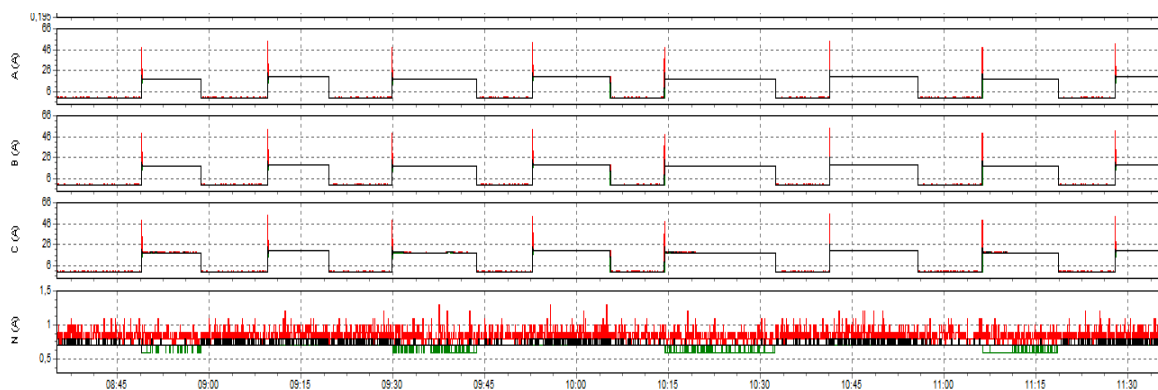


Figura 75. Medición de Intensidad, (Torre norte), de 8:45 am a 11:30 am. Analizador de redes Fluke 434-II. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

De igual forma, para la figura 76 se aprecia un periodo de mayor actividad de los motores trifásicos, tomado de entre las 12:15 pm y las 3:00 pm.

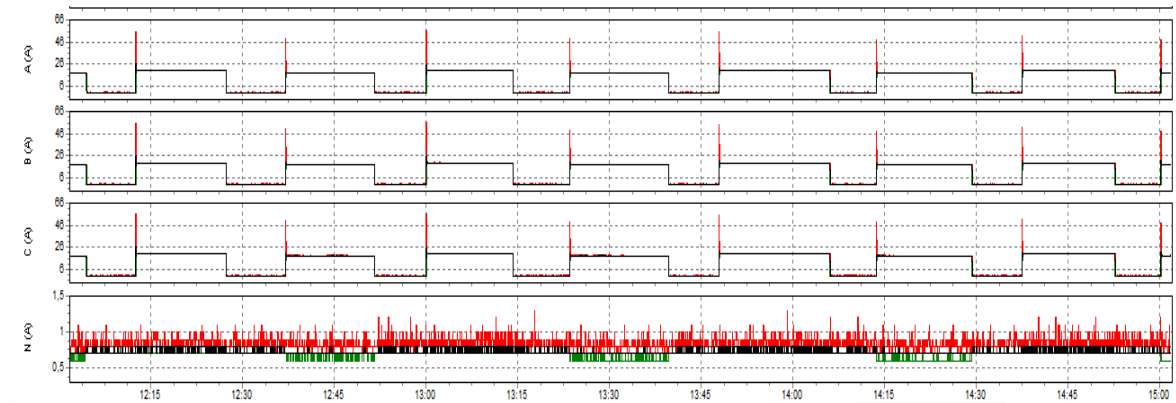


Figura 76. Medición de Intensidad, (Torre norte), de 12:15 pm a 15 h. Analizador de redes Fluke 434-II. Fuente: Elaboración propia.

- **Desventajas del arrancador Estrella-Delta**

- Se ve limitado con un par de arranque con respecto a un arrancador tipo autotransformador, debido a que el torque en el momento del arranque se reduce hasta una tercera parte de su valor nominal.
- Necesita una disponibilidad de 6 a 12 bornes para su conexión.
- Si dado el caso de que los bornes de potencia de la conexión estrella se queden retenidos y el control cambie a la conexión delta, habría corto circuito trifásico.
- Debido a que el arranque Estrella-Delta es para motores trifásicos mayores de 5 hp, el par de arranque es mucho más alto, por lo cual el aumento de la corriente será significativo para poder vencer la inercia del motor, y sus partes móviles también se verán afectadas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- La tensión de red de suministro debe ser aproximadamente igual a la tensión en conexión delta del motor con el fin de evitar sobrecorrientes en el momento que haga el cambio a esta última.
- El motor mínimo debe llegar hasta un 90% de la velocidad nominal de placa del motor.

4.2 Variador de Frecuencia MICROMASTER 440

En la sesión 4.1.3 se discutió el modo de funcionamiento del sistema de potencia de las bombas centrífugas y cómo éstas se encuentran trabajando bajo un arrancador Estrella-Delta. Se repasó el modo de operación de este tipo de arrancador y se expuso los resultados obtenidos a partir de las mediciones efectuadas con el analizador de redes Fluke 434-II con el objetivo de hacer un análisis comparativo que respaldara el estudio teórico de este tipo de arrancador. Finalmente se expuso las desventajas que supone trabajar con este sistema de arranque para motores trifásicos, siendo los alcances económicos una de las principales variables que supone plantear otras opciones más eficientes.

Muchas empresas están con los métodos de conservación de la energía con el fin de reducir costos. La mayor parte de la energía utilizada se basa en combustibles fósiles y los resultados son la liberación de gases de efecto invernadero. La reducción de los gases de efecto invernadero es uno de los factores claves en pro de la conservación de la energía y aumento de la eficiencia. La mejora de la eficiencia se puede aplicar a diferentes sectores de la industria, como en el área térmica y eléctrica. La instalación de accionamientos con variadores de frecuencia en motores eléctricos es muy eficaz para la conservación de la energía ya que con estos equipos no es necesario que el motor se ejecute a plena carga.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

La serie MICROMASTER 440 de Siemens es una gama de convertidores de frecuencia para controlar la velocidad de motores trifásicos. Los modelos disponibles abarcan un rango de potencias desde 120 W para entrada monofásica hasta 75 kW con entrada trifásica.

Los equipos están controlados por microprocesador y cuentan con tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los convierte en convertidores fiables y versátiles. La aplicación de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable posibilita un funcionamiento silencioso del motor.

El MICROMASTER 440 está ajustado para una gran variedad de aplicaciones sencillas de control de motores; igualmente puede utilizarse para servicios más avanzados haciendo un uso integral de su funcionalidad. Una de las características más flexibles que ofrece la serie de convertidores de Siemens es su alto rendimiento en aplicaciones donde se encuentre aislado o como un equipo integrado en sistemas de automatización.

Del manual MICROMASTER 440, edición B1, se referencian a continuación algunas de las propiedades más destacadas del convertidor.

- **Características**
 - Fácil instalación
 - Puesta en marcha sencilla
 - Diseño robusto en cuanto CEM
 - Puede funcionar en alimentación de línea IT
 - Tiempo de respuesta a señales de mando rápido y repetible
 - Amplio número de parámetros que permite la configuración de una gama extensa de aplicaciones
 - Conexión sencilla de cables
 - Relés de salida
 - Salidas analógicas (0-20 mA)
 - 6 entradas digitales NPN/PNP aisladas y conmutables

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- 2 entradas analógicas:

$AIN1: 0 - 10 V, 0 - 20 mA$ y $-10 a + 10 V$

$AIN2: 0 - 10 V, 0 - 20 mA$
- Las 2 entradas analógicas se pueden utilizar como la 7ª y 8ª entrada digital
- Tecnología BiCo
- Diseño modular para configuración extremadamente flexible
- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor
- Información de estado detallada y funciones de mensaje integradas
- Opciones externas para comunicación por PC, panel BOP (Basic Operator Panel), panel AOP (Advanced Operator Panel) y módulo de comunicación PROFIBUS.
- **Prestaciones**
 - Control vectorial sin sensores (sensorless vector control)
 - Control de flujo corriente FCC (flux current control) para una mejora de la respuesta dinámica y control del motor
 - Limitación rápida de corriente FCL (fast current limitation) para funcionamiento libre de disparos intempestivos
 - Freno por inyección de corriente continua integrado
 - Frenado compuesto o combinado para mejorar las prestaciones del frenado
 - Tiempos de aceleración/deceleración con redondeo de rampa programable
 - Control en lazo cerrado utilizando una función PID (proporcional, integral y diferencial) con autoajuste
 - Chopper de frenado incorporado
 - Rampas de subida y bajada seleccionables
 - Aislamiento de rampa con 4 puntos
 - Característica V/f multipunto

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Se puede conjugar entre 3 juegos de parámetros, permitiendo a un único convertidor controlar varios procesos de forma alternada
- **Características de protección**
 - Protección de sobretensión/mínima tensión
 - Protección de sobretemperatura para el convertidor
 - Protección de defecto a tierra
 - Protección de cortocircuito
 - Protección térmica del motor por i^2t
 - Protección del motor mediante sondas PTC/KTY

En la tabla 15 se consignan los datos técnicos con las referencias más importantes del convertidor. La selección del mismo se ha efectuado en función de las características de los motores trifásicos en cada uno de los sótanos del edificio.

Tabla 16

Características del MICROMASTER 440.

Características		Especificación	
Tensión de red y márgenes potencia	CT	1 AC 200 a 240 V $\pm 10\%$	0.12 kW – 3.0 kW (0.16 hp – 4.0 hp)
		3 AC 200 a 240 V $\pm 10\%$	0.12 kW – 45.0 kW (0.16 hp – 60.0 hp)
	VT		5.50 kW – 45.0 kW (7.50 hp – 60.0 hp)
	CT	3 AC 380 a 480 V $\pm 10\%$	0.37 kW – 75.0 kW (0.50 hp – 100 hp)
			7.50 kW – 90.0 kW (10.0 hp – 120 hp)
	CT	3 AC 500 a 600 V $\pm 10\%$	0.75 kW – 75.0 kW (1.00 hp – 100 hp)
			1.50 kW – 90.0 kW (2.00 hp – 120 hp)

Frecuencia de entrada	47 a 63 Hz
Frecuencia de salida	0 Hz a 650 Hz
Factor de potencia	≥ 0.7
Rendimiento del convertidor	96 a 97 %
Capacidad de sobrecarga (Par constante CT)	50 % de sobrecarga durante 60 s en un periodo de 5 min o 100 % de sobrecarga durante 3 s en un periodo de 5 min referido a la corriente nominal de salida
Frecuencias fijas	15, parametrizable
Entradas digitales	6, parametrizable (libre de potencia), conmutables entre activa con high/ activa con low (PNP/NPN)
Entrada analógica 1	0 – 10 V, 0 – 20 mA y – 10 a + 10 V
Entrada analógica 2	0 – 10 V, y 0 – 20 mA
Salidas de relé	3, parametrizable 30 V DC / 5 A (carga resistiva), 250 V AC (carga inductiva)
Salida analógica	2, parametrizable (0 a 20 mA)
Humedad relativa	< 95 % (sin condensación)
Altitud de operación	Hasta 1000 m sobre el nivel del mar sin reducción de potencia
Par constante (CT)	-10 °C a + 50 °C (14 °F a 122 °F)
Par variable (VT)	-10 °C a + 40 °C (14 °F a 104 °F)
Temperatura de almacenamiento	-40 °C a + 70 °C (-40 °F a 158 °F)
Características de protección	Mínima tensión, sobretensión, sobrecarga, defecto a tierra, cortocircuito, protección basculante, protección de bloqueo del motor, sobretemperatura en motor, sobretemperatura en convertidor, bloqueo de parámetros

Nota: Recuperado de SIEMENS. MICROMASTER 440. Instrucciones de uso. Edición B1.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2.1 Instalación del Convertidor

Para el presente trabajo se tomarán como base los motores trifásicos de 15 hp (torre norte). El tipo de instalación que se propone como diseño aplicará igualmente para los motores de 20 hp (torre sur), modificando únicamente algunos parámetros del convertidor como potencia del motor, corriente nominal, y otros.

- **Advertencia**

Antes de proceder a la instalación del convertidor MICROMASTER 440 se deben tomar las siguientes consideraciones de seguridad para el personal y el equipo. (Tomado del manual MICROMASTER 440, Instrucciones de uso. Edición B1).

- Si en el equipo / sistema trabaja personal **no cualificado** o si no se respetan las advertencias pueden resultar lesiones graves o daños materiales considerables. En el equipo/sistema solo deberá trabajar personal cualificado y familiarizado con el montaje, instalación, puesta en servicio y operación del producto.
- Solo se permiten conexiones de potencia cableadas de forma permanente. El equipo debe ponerse a tierra (IEC 536 clase 1, NEC y otras normas aplicables)
- Los bornes siguientes pueden estar bajo tensión peligrosa incluso si no está funcionando el convertidor:
 - los bornes de alimentación de potencia L/L1, N/L2, L3.
 - los bornes del motor U, V, W, DC +/B+, DC-, B- y DC/R+
- Antes de efectuar ningún tipo de trabajo de instalación esperar **5 minutos** para permitir a la unidad descargarse tras su desconexión.
- Este equipo no debe utilizarse como “mecanismo de parada de emergencia”
- El conductor de puesta a tierra debe tener un tamaño mínimo igual o mayor que la sección de los cables de alimentación de potencia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **CONDICIONES AMBIENTALES**

- **Temperatura**

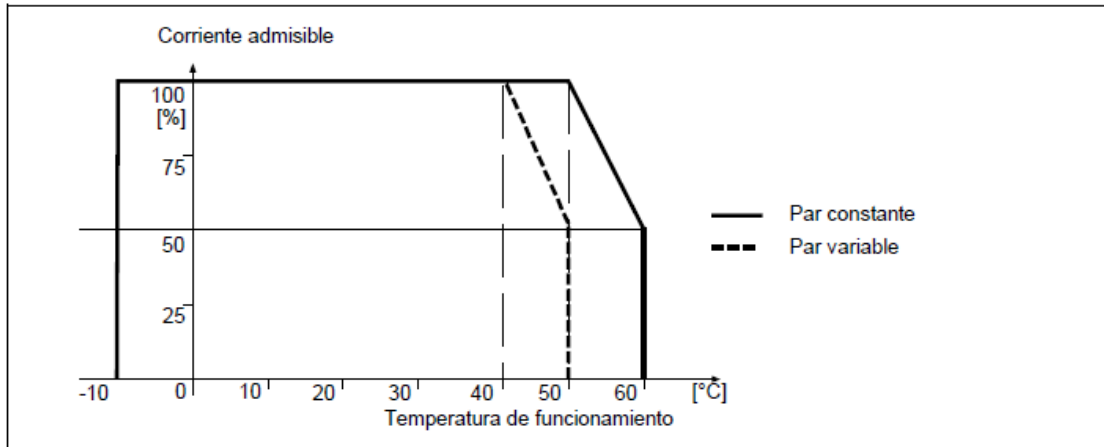


Figura 77. Temperatura de funcionamiento. Recuperado de

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s_pan_B1.pdf

Los valores para par variable son la capacidad del convertidor de aumentar la potencia nominal de salida al utilizarlo en aplicaciones de ventilación y bombeo.

Al seleccionar par variable el convertidor deja de tener la capacidad de sobrecarga.

- **Margen de humedad**

Humedad relativa ≤ 95 % sin condensación

- **Altitud**

Si el convertidor debe instalarse a una altitud > 1000 m o a partir de 2000 m sobre el nivel del mar es necesario reducir la potencia. En el caso de la ciudad de Medellín, se encuentra a una altitud media de 1495 m s. n. m.

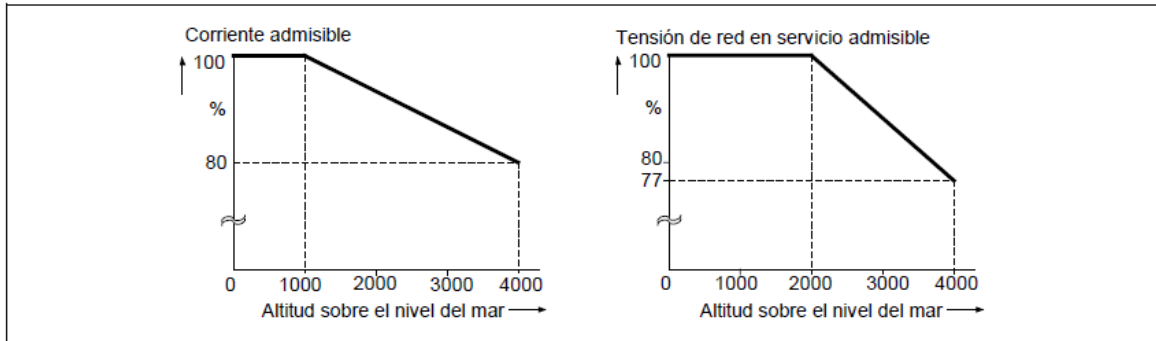


Figura 78. Altitud. Recuperado de

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_span_B1.pdf

4.2.2 Instalación mecánica

Siemens ofrece diferentes modalidades en los convertidores MICROMASTER 440, para el presente trabajo se tomará como modelo el tamaño constructivo tipo A, sin embargo, en la siguiente tabla se anexa todos los tamaños constructivos con sus dimensiones y propiedades de instalación.

Tabla 17

Dimensiones y pares (torques) de MICROMASTER 440.

Tamaño constructivo		Dimensiones generales		Método de fijación	Par de apriete	
A	Anchura	x	mm	73 x 173 x 149	2 x tornillos M4 2 x tuercas M4 2 x arandelas M4 colocados sobre carril	2,5 Nm con arandelas puestas
	Altura	x				
	Profundidad		pulg.	2,87 x 6,81 x 5,87		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO		Código	
			Versión	
			Fecha	

B	Anchura	x	mm	149 x 202 x 172	4 x tornillos M4	2,5 Nm con arandelas puestas
	Altura	x			4 x tuercas M4	
	Profundidad		pulg.	5,87 x 7,95 x 6,77	4 x arandelas M4	
C	Anchura	x			4 x tornillos M5	2,5 Nm con arandelas puestas
	Altura	x	mm	185 x 245 x 195	4 x M5 Nuts	
	Profundidad				4 x M5 Washers	
D	Anchura	x	mm	275 x 520 x 245	4 x tornillos M8	3,0 Nm con arandelas puestas
	Altura	x			4 x tuercas M8	
	Profundidad		pulg	10,82 x 20,47 x 9,65	4 x arandelas M8	
E	Anchura	x	mm	275 x 650 x 245	4 x tornillos M8	3,0 Nm con arandelas puestas
	Altura	x			4 x tuercas M8	
	Profundidad		pulg	10,82 x 25,59 x 9,65	4 x arandelas M8	
F	Anchura	x	mm	350 x 850 x 320		3,0 Nm con arandelas puestas
	Altura	x		Altura con filtro 1150	4 x tornillos M8	
	Profundidad		pulg	13,78 x 33,46 x 12,60 Höhe con filtro 45,28	4 x tuercas M8 4 x arandelas M8	

Nota: Recuperado de SIEMENS. MICROMASTER 440. Instrucciones de uso. Edición B1.

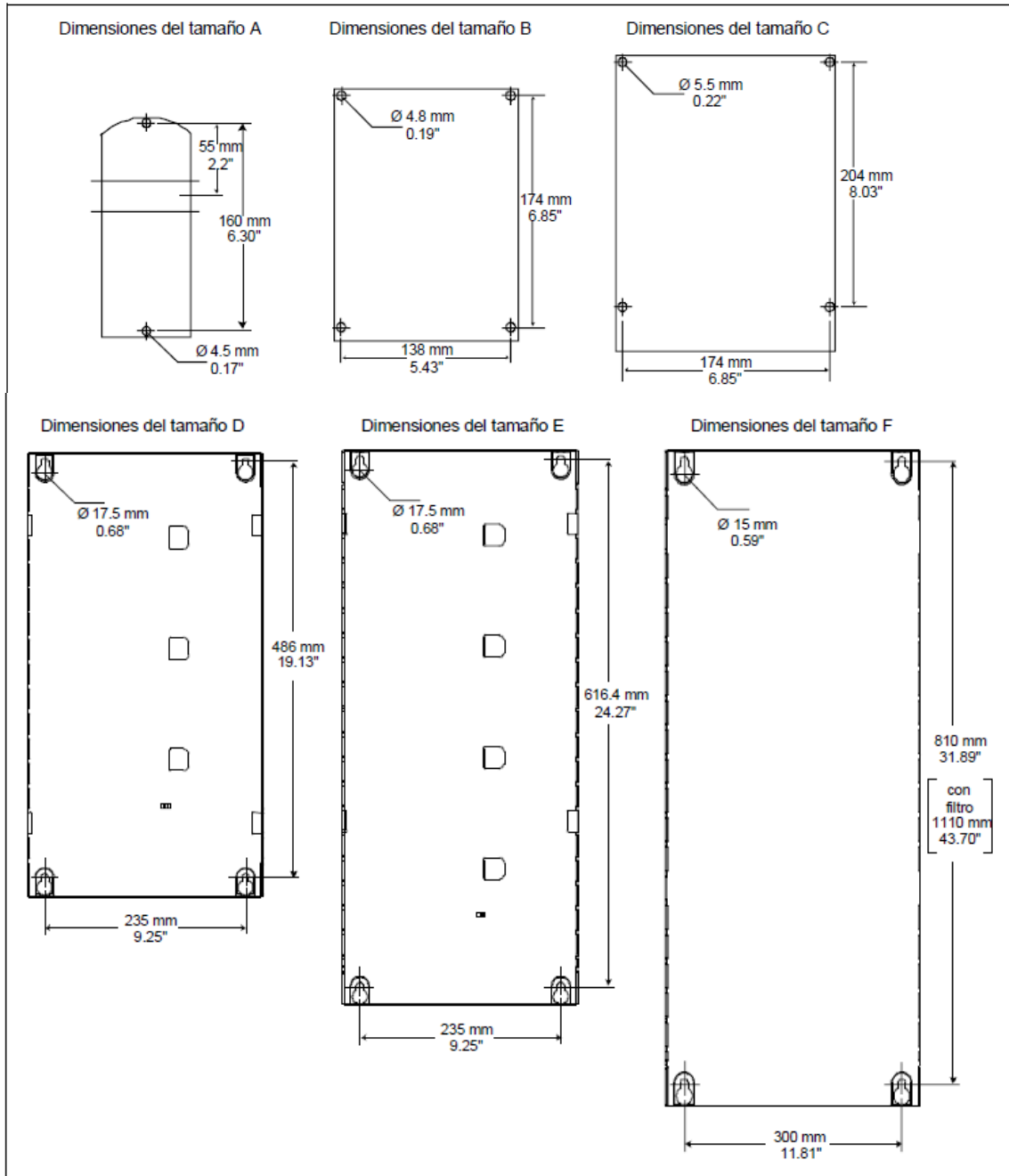


Figura 79. Patrones de taladros. Recuperado de

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s
pan_B1.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s
pan_B1.pdf)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Montaje sobre perfil**

Se describe el modo correcto de instalación del convertidor sobre perfil 35 mm (EN 50022).

Basado en el Manual MICROMASTER 440, Instrucciones de uso, Edición B1.

1. Acoplar el variador sobre el perfil (carril) en omega normalizado utilizando el anclaje superior del mismo.



2. Empujar el variador hacia el carril; el anclaje inferior debería hacer un clic al encajar.

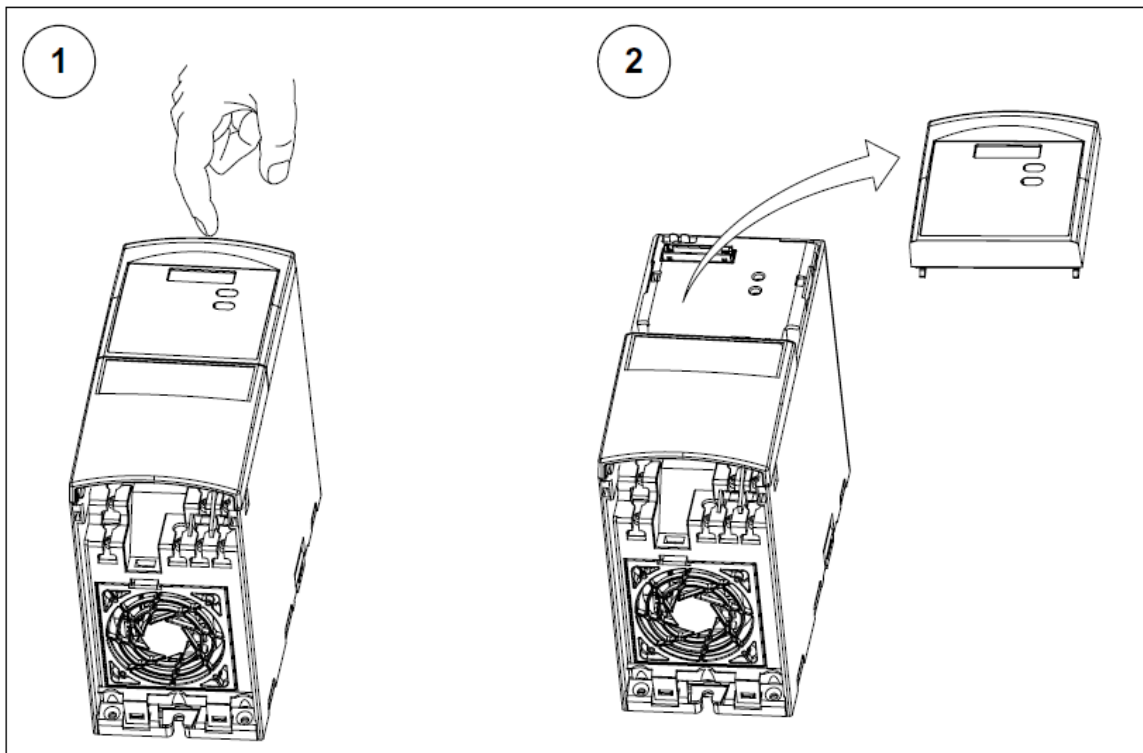
- **Desmontar el convertidor del carril**

1. Para desenganchar el convertidor, insertar un destornillador en el mecanismo de liberación del convertidor.
2. Aplicando una presión hacia abajo se desengancha el anclaje inferior para carril.
3. Retirar el variador del carril.

4.2.3 Instalación eléctrica

- **Acceso a los bornes de red y del motor**

Retirando las cubiertas se accede a los bornes de red y del motor.



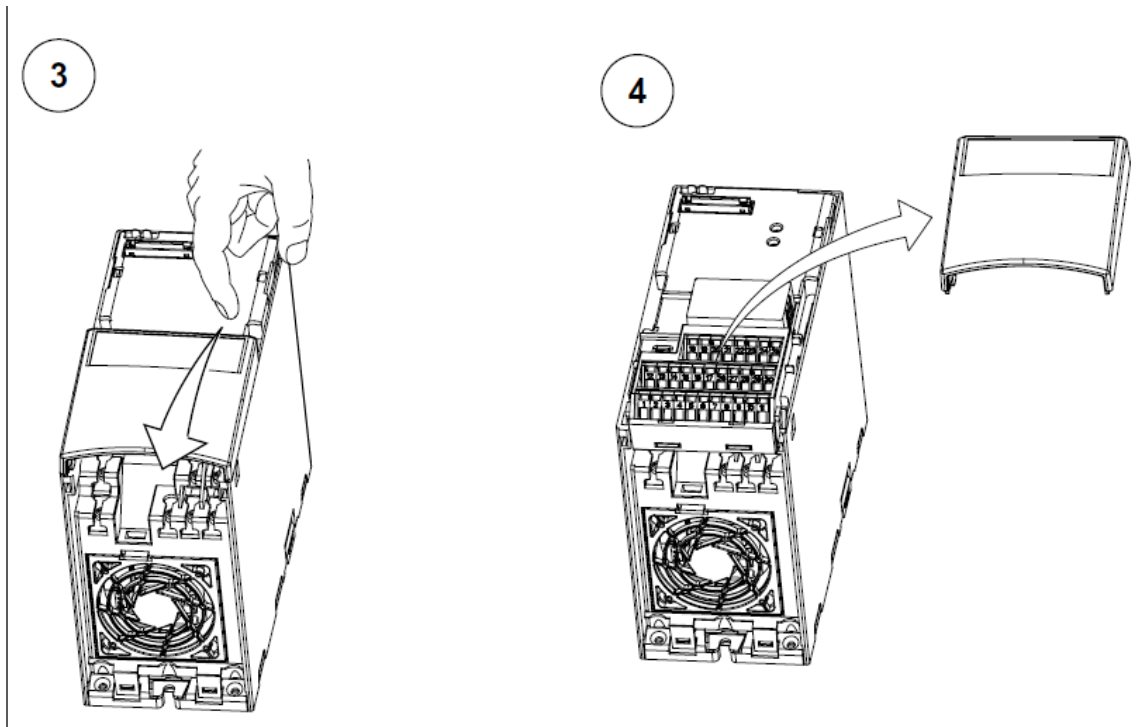


Figura 80. Sacar las cubiertas del tamaño constructivo A. Recuperado de

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s
pan_B1.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s
pan_B1.pdf)

Para las conexiones de red y del motor, se realiza como se muestra en la figura 82.

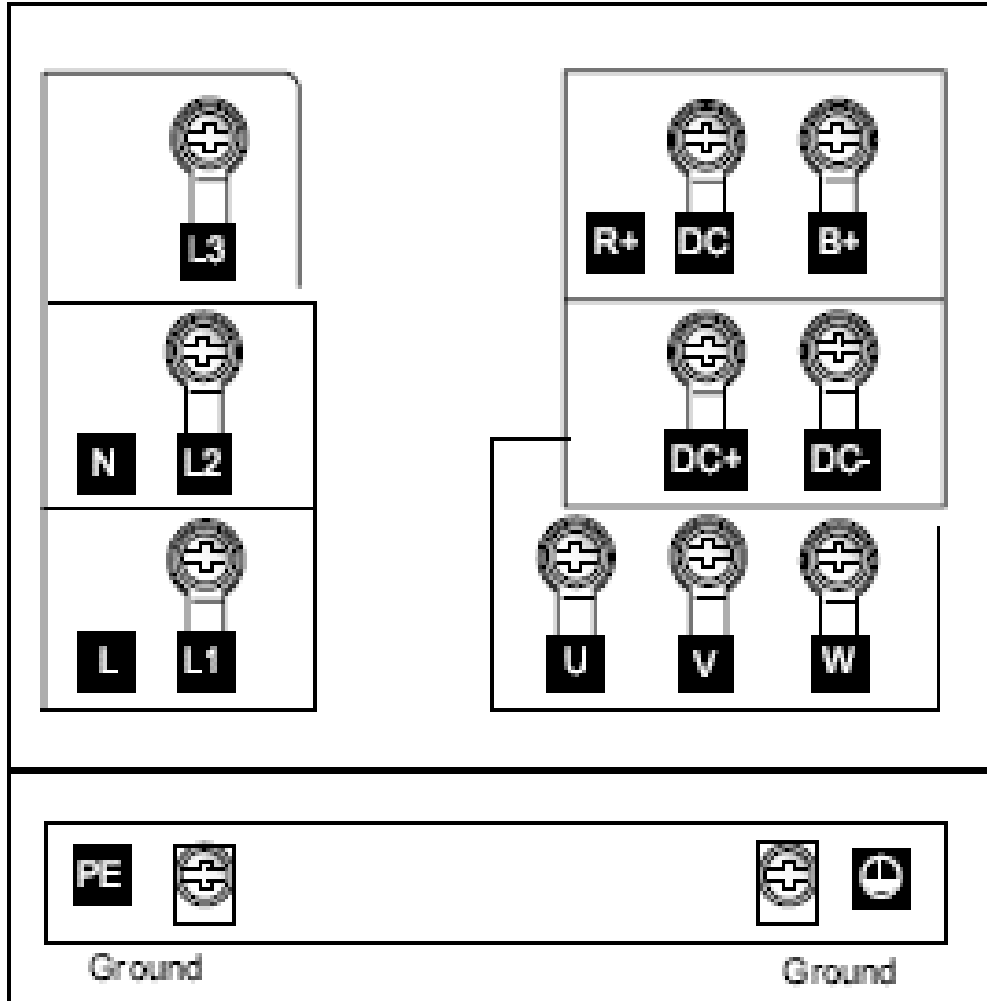


Figura 81. Bornes de conexiones de Red y motor, tamaño constructivo A. Recuperado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_span_B1.pdf

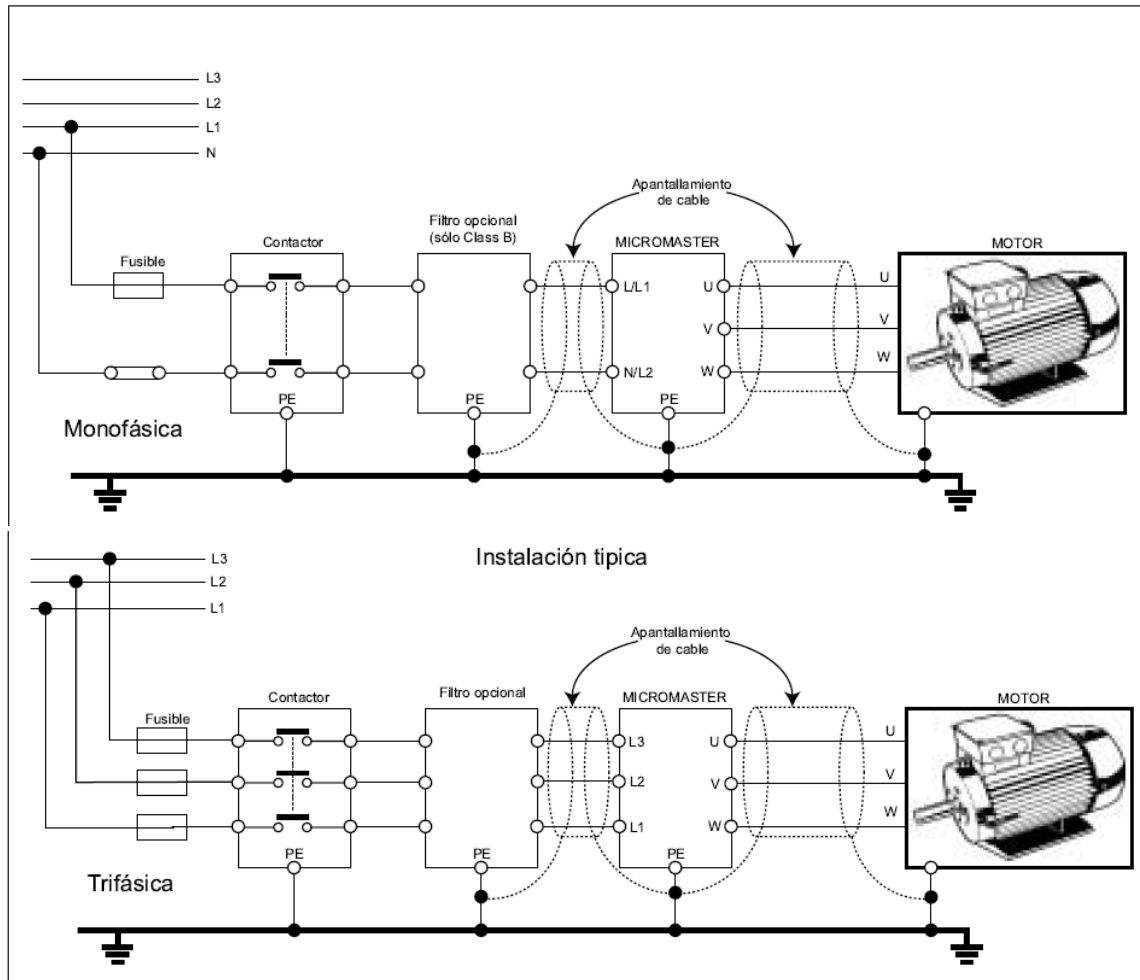


Figura 82. Conexiones del motor y la red. Recuperado de

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_span_B1.pdf

4.2.4 Puesta en servicio

Antes de comenzar con las primeras pruebas de marcha de los motores trifásicos es importante parametrizar el convertidor de acuerdo a las características de los motores.

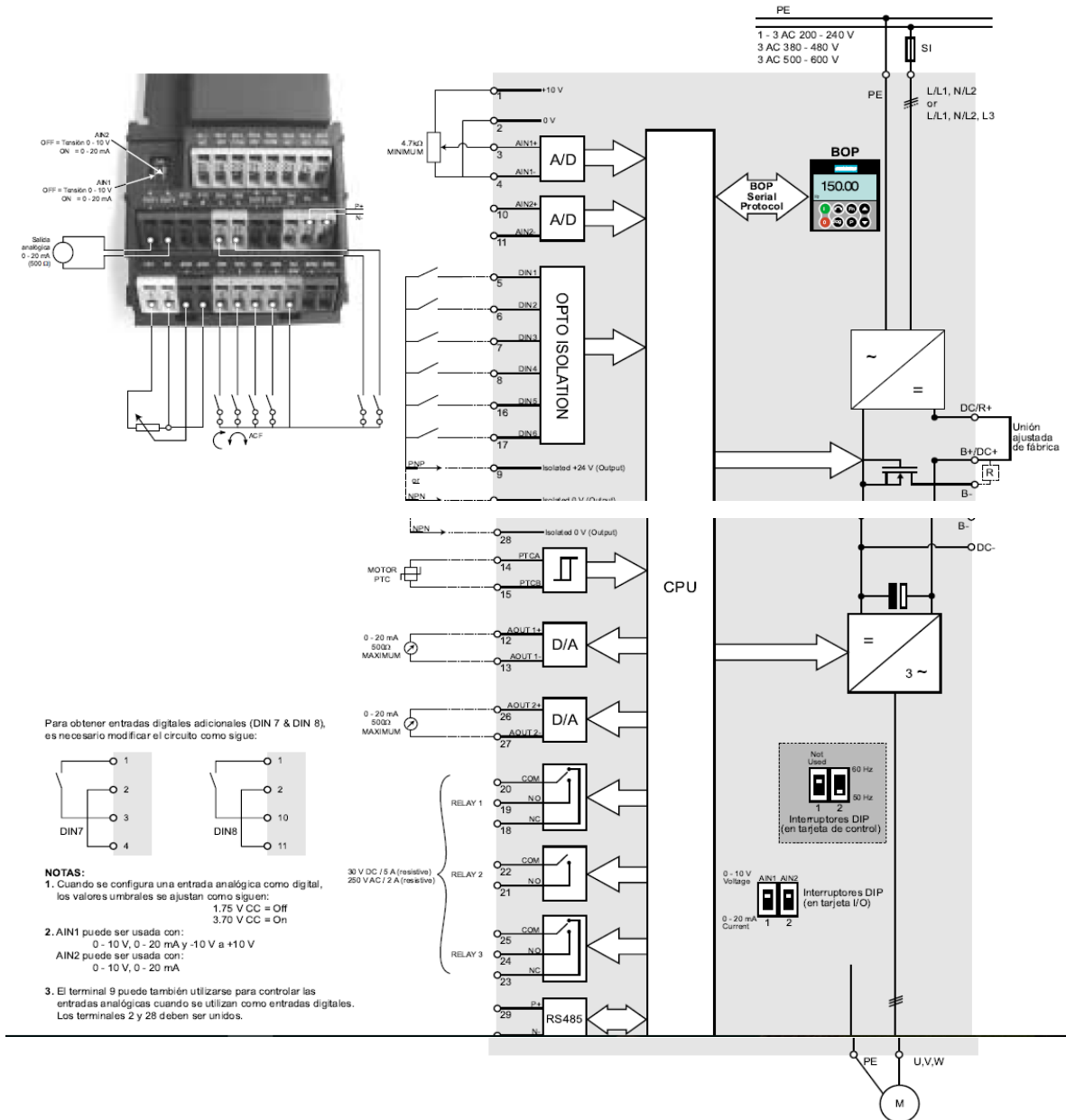


Figura 83. Diagrama de bloques del convertidor. Recuperado de

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_span_B1.pdf

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Modos de puesta en servicio**

El MICROMASTER 440 cuenta con un SDP (Status Display Panel), panel de visualización de estado. El panel admite una aplicación múltiple del variador con los preajustes efectuados en fábrica. Si éstos preajustes no se adaptan a las condiciones de la instalación, se pueden modificar con ayuda de los paneles opcionales BOP (Basic Operator Panel), panel básico del operador, o AOP (Advanced Operator Panel), panel de mando avanzado.

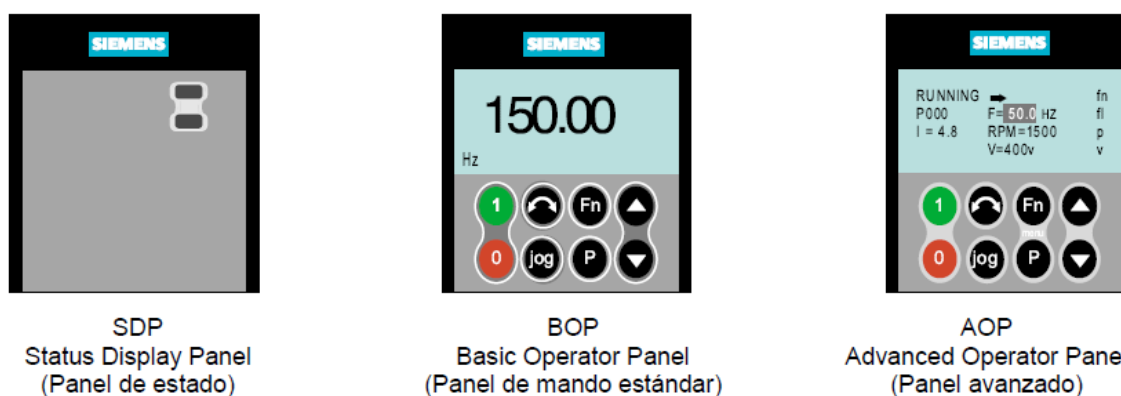


Figura 84. Paneles disponibles para los variadores. Recuperado de

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_span_B1.pdf

- **Ajuste de Frecuencia**

Para configurar el ajuste de frecuencia al utilizado en América (60 Hz, hp, etc.) se realiza por medio del interruptor DIP (Dual In-line Package), que se encuentra ubicado en el panel de control, bajo la tarjeta de E/S. (Ver figura 85). En el variador se establece de la forma siguiente:

- Interruptor DIP 2:
 - Posición Off:
 - Ajustes europeos por defecto

(50 Hz, kW, etc.)

- Posición On:

Ajustes americanos por defecto

(60 Hz, hp, etc.)

- Interruptor DIP 1:

No para uso del cliente.

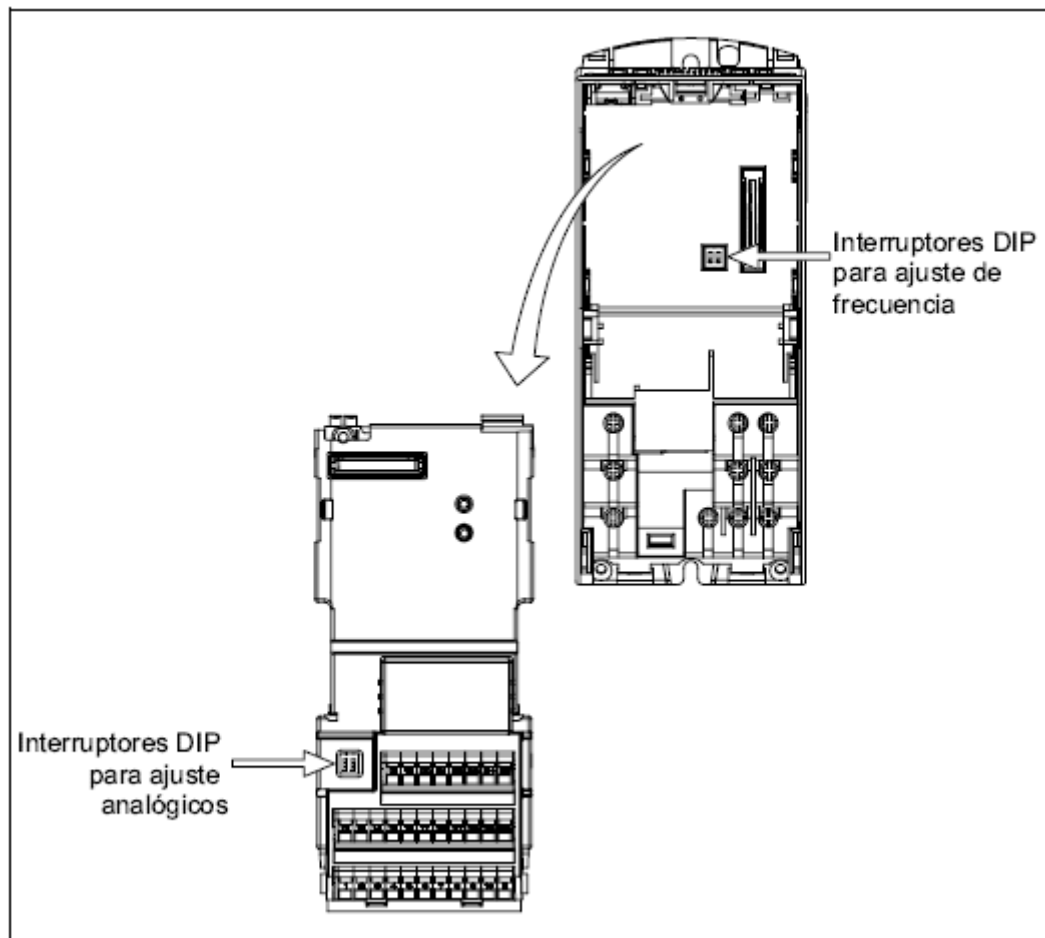


Figura 85. Interruptor DIP. Recuperado de

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s
pan_B1.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s
pan_B1.pdf)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Puesta en servicio con el panel SDP**

Para el presente proyecto no se considerará los accesorios de los paneles SDP y AOP, sin embargo, se presenta como una opción para posibles modificaciones a futuro.

Este panel dispone de dos diodos LED frontales que presentan el estado operativo del variador. Es importante verificar que los preajustes del variador sean compatibles con los siguientes datos del motor:

- Potencia nominal del motor
- Tensión del motor
- Corriente nominal del motor
- Frecuencia nominal del motor

En la sesión de parámetros del variador, se detallará el modo de configuración de los datos, del motor al variador.

Deben cumplirse además las siguientes condiciones:

- Velocidad variable linealmente (U/f) con un potenciómetro analógico
- Velocidad máxima: 3000 r/min a 50 Hz (3600 r/min a 60 Hz); controlada mediante un potenciómetro a través de una entrada analógica del variador.
- Tiempo de aceleración en rampa/tiempo de deceleración en rampa = 10 s

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

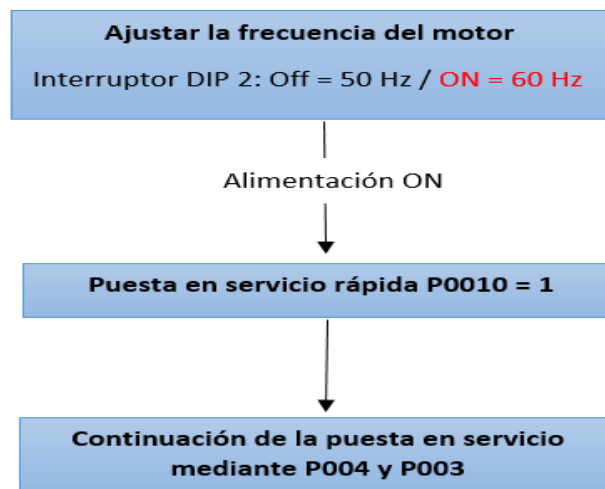
Tabla 18

Ajustes por defecto para funcionamiento utilizando el panel SPD.

	Bornes	Parámetro	Funcionamiento por defecto
Entrada digital 1	5	P0701 = '1'	ON a derechas
Entrada digital 2	6	P0702 = '2'	Invertir
Entrada digital 3	7	P0703 = '9'	Acuse de fallo
Entrada digital 4	8	P0704 = '15'	Frecuencia fijada
Entrada digital 5	16	P0705 = '15'	Frecuencia fijada
Entrada digital 6	17	P0706 = '15'	Frecuencia fijada
Entrada digital 7	Mediante AIN1	P0707 = '0'	Inactiva
Entrada digital 8	Mediante AIN2	P0708 = '0'	Inactiva

- **Puesta en servicio con el panel BOP**

Antes de proceder con la puesta en servicio de los motores mediante la parametrización del variador se debe verificar por última vez que las instalaciones mecánica y eléctrica cumplen con los requerimientos establecidos por SIEMENS para el convertidor y con las normas regionales referentes a instalaciones eléctricas.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Para el presente diseño se ha seleccionado el panel BOP como base para la parametrización del variador MICROAMSTER 440. Mediante este panel se pueden configurar los valores de parámetros. En la figura 88 Se muestra la forma correcta de retirar el panel de operador en caso de que se requiera trabajar con otro tipo de panel.



Figura 86. Panel BOP. Recuperado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s_pan_B1.pdf

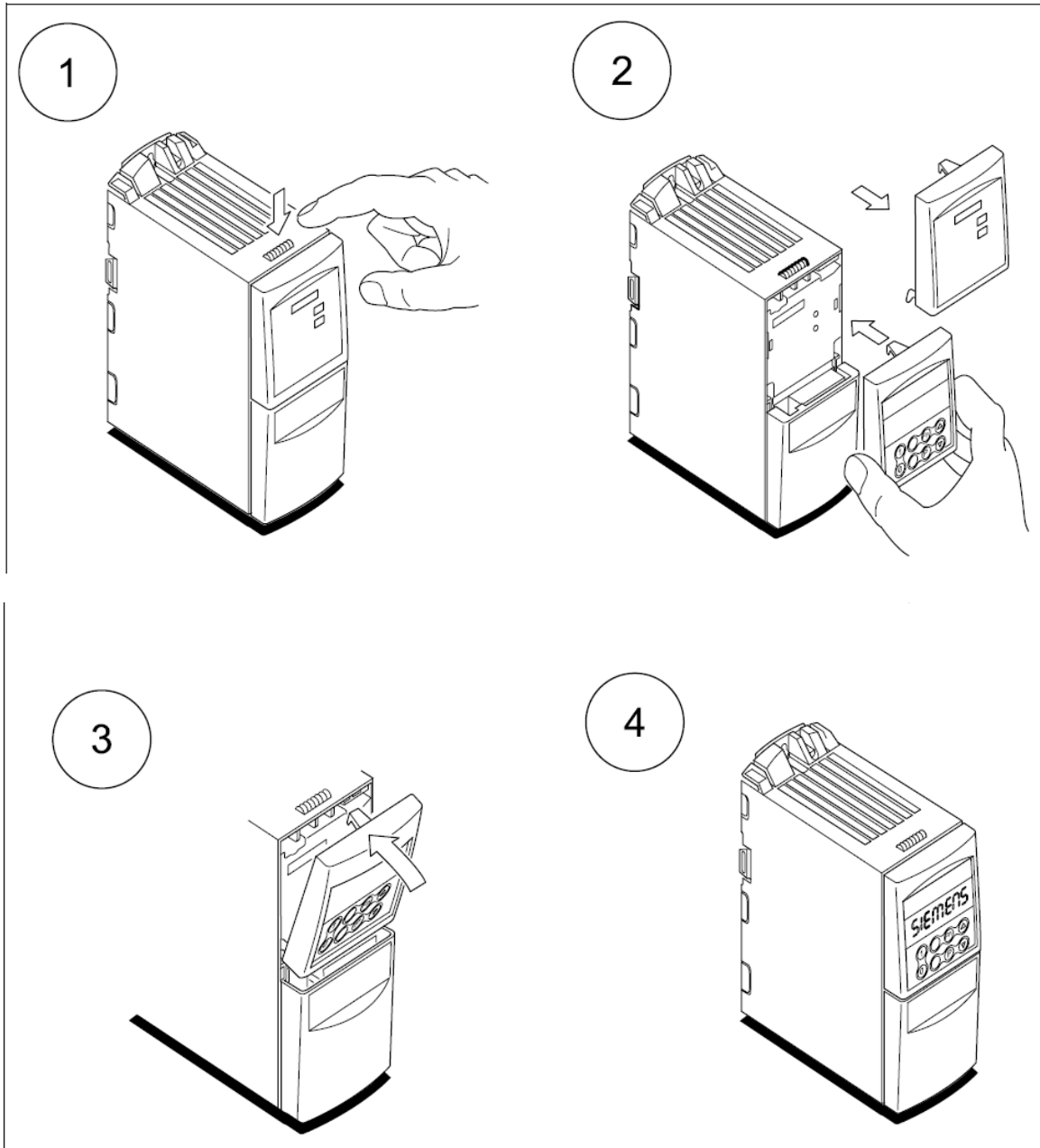


Figura 87. Cambio del panel de Operador. Recuperado de

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s
pan_B1.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/916/11886916/att_32227/v1/MM440_OPI_s_pan_B1.pdf)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

El tipo de pantalla que presenta el panel BOP es de siete segmentos en la que se visualizan los números y los valores de los parámetros, mensajes de alarma y fallo, así como valores de consigna y valores reales. Los parámetros de funcionamiento por defecto de fábrica se muestran en la tabla 18.

Tabla 19

Ajustes por defecto para funcionamiento mediante panel BOP.

Parámetro	Función	Por defecto Europa (América)
P0100	Modo operación Europa/América	50 Hz, kW (60 Hz, hp)
P0307	Potencia nominal del motor	Las unidades (kW o hp) dependen del ajuste de P0100. (Valor dependiente de la variante)
P0310	Frecuencia nominal del motor	50 Hz (60 Hz)
P0311	Velocidad nominal del motor	1395 (1680) rpm (dependiendo de la variante)
P1082	Frecuencia máxima del motor	50 Hz (60 Hz)

- **Botones en el panel BOP**



- **Indicación de estado:** La pantalla de cristal líquido muestra los ajustes actuales del variador.



- **Marcha:** Una vez activado se pone en marcha el variador. Por defecto viene bloqueado. Para habilitarlo ajustar el parámetro P0700 = 1.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



- **Parada:** OFF1 Al pulsarlo se detiene el motor siguiendo la rampa de deceleración seleccionada. Para habilitar el botón ajustar el parámetro P0700 = 1.
OFF 2 Pulsándolo dos veces, el motor se detiene de forma natural (por inercia). Este modo de operación se encuentra siempre habilitada.



- **Invertir sentido de giro:** Al pulsarlo se invierte el sentido de giro del motor. Por defecto se encuentra bloqueado. Para habilitarlo ajustar el parámetro P0700 = 1.



- **Jog motor:** Al pulsarlo hace que el motor arranque y gire a la frecuencia preseleccionada. El efecto Jog funciona siempre y cuando se mantenga presionado el botón, una vez que se suelta el motor se detiene.



- **Funciones:** Ayuda a visualizar información adicional. Manteniendo pulsado este botón durante 2 s en cualquier parámetro, se indica lo siguiente:
 1. Tensión del circuito intermedio (indicado mediante d – unidades en V).
 2. Corriente de salida (A)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3. Frecuencia de salida (Hz)
4. Tensión de salida (indicada mediante o – *unidades en V*).
5. El valor seleccionado en P0005 (si P0005 está ajustado para mostrar cualquiera de los valores de arriba (3, 4 o 5) entonces este no se muestra de nuevo).

Cualquiera pulsación de más devuelve a la sucesión indicada anteriormente.



- **Acceder a parámetros:** Pulsando este botón se accede a los parámetros del variador.



- **Subir valor:** Aumenta el valor visualizado.



- **Bajar valor:** Disminuye el valor visualizado.

- **Cambio de parámetros con el panel BOP**

- **Parametrización del variador con el panel BOP**

Se finaliza esta sesión con la configuración de los parámetros más importantes para la puesta en marcha de los motores trifásicos. Con el panel BOP es posible ajustar las

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

propiedades deseadas del variador como los tiempos de rampa, frecuencias mínima y máxima, entre otros.

- Los parámetros de visualización se representan bajo la forma rxxx y los de ajuste con Pxxx.
- P0010 inicia la “Puesta en servicio rápida”.
- El variador no arrancará hasta que se ponga a 0 P0010 una vez accedido al mismo.

En la tabla 19 se consignan los parámetros para el ajuste del variador de acuerdo a las características de los motores trifásicos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 20

Ajustes de los parámetros para datos de motores.

Núm. Par	ParText	Default	Level	DS	QC
r0035[3]	CO: Act. motor temperature	-	2	-	-
P0300[3]	Selección del tipo de motor	1	2	C	Q
P0304[3]	Tensión nominal del motor	230	1	C	Q
P0305[3]	Corriente nominal del motor	3.25	1	C	Q
P0307[3]	Potencia nominal del motor	0.75	1	C	Q
P0308[3]	cosPhi nominal del motor	0.000	2	C	Q
P0309[3]	Rendimiento nominal del motor	0.0	2	C	Q
P0310[3]	Frecuencia nominal del motor	50.00	1	C	Q
P0311[3]	Velocidad nominal del motor	0	1	C	Q
r0313[3]	Pares de polos del motor	-	3	-	-
P0320[3]	Corriente de magnetización del mo	0.0	3	CT	Q
r0330[3]	Deslizamiento nominal	-	3	-	-
r0331[3]	Corriente de magnetización nomina	-	3	-	-
r0332[3]	Factor de potencia nominal	-	3	-	-
r0333[3]	Par motor nominal	-	3	-	-
P0335[3]	Refrigeración del motor	0	2	CT	Q
P0340[3]	Cálculo de parámetros del motor	0	2	CT	N
P0341[3]	Inercia del motor [kg*m^2]	0.00180	3	CUT	N
P0342[3]	Relación de Inercia total/motor	1.000	3	CUT	N
P0344[3]	Peso del motor	9.4	3	CUT	N
r0345[3]	Tiempo de inicialización del moto	-	3	-	-
P0346[3]	Tiempo de magnetización	1.000	3	CUT	N
P0347[3]	Tiempo de desmagnetización	1.000	3	CUT	N
P0350[3]	Resistencia del estator (fase-a-f	4.0	2	CUT	N
P0352[3]	Resistencia del cable	0.0	3	CUT	N
r0384[3]	Constante de tiempo del rotor	-	3	-	-
r0395	CO: Resistencia total estator [%]	-	3	-	-
r0396	CO: Resitencia rotor actual	-	3	-	-
P0601[3]	Sensor de temperatura del motor	0	2	CUT	N

Nota: Recuperado de SIEMENS. MICROMASTER 440. Instrucciones de uso. Edición B1.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.3 Control Lógico Programable (PLC)

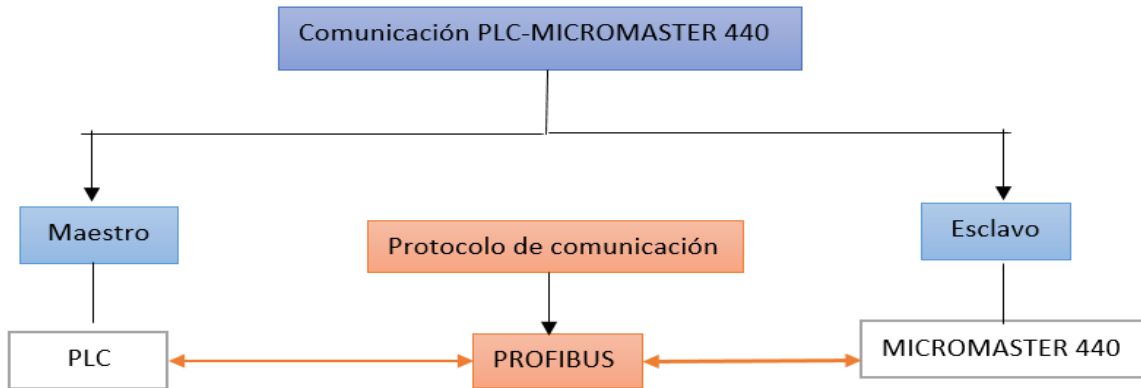
En esta sesión se detalla la propuesta de programación para la automatización de las bombas centrífugas en el edificio.

En la sesión anterior se sugirió el uso del variador de frecuencia como método de arranque de los motores trifásicos en lugar del arrancador Estrella-Delta. A continuación, se plantea el diseño de un sistema que combine el uso de un controlador lógico programable (PLC) con el variador de frecuencia MICROMASTER 440 mediante el software de programación SIMATIC Step7, ambos equipos de la marca SIEMENS. El objetivo del programa de automatización busca minimizar los gastos de operación de las bombas reduciendo su operación a plena carga.

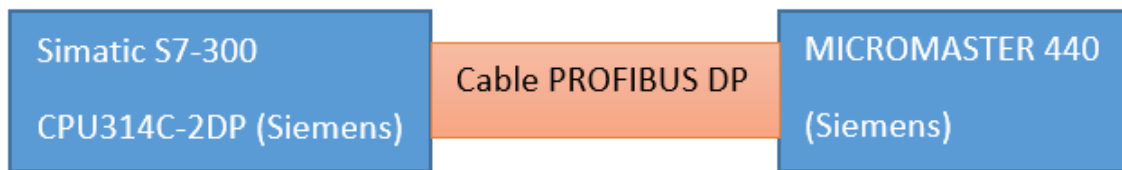
4.3.1 Comunicación PLC-MICROMASTER 440

El modo de comunicación del controlador lógico programable y el variador de frecuencia se establece mediante las siguientes condiciones:

- Definición del Maestro-Esclavo
- Selección del protocolo de comunicación



- **Equipos**



4.3.2 Modo de operación

El modo de operación de las bombas centrífugas está condicionado por el nivel de los tanques de distribución y recepción (ver capítulo 3, sesión 3.4.3.2).

Las bombas trabajan a plena carga (máxima frecuencia) cada vez que entran en operación.

El siguiente programa busca que la frecuencia de las bombas varíe en función del nivel de los tanques de recepción. En la figura 88 se indica cómo se encuentra actualmente distribuidos los sensores de nivel.

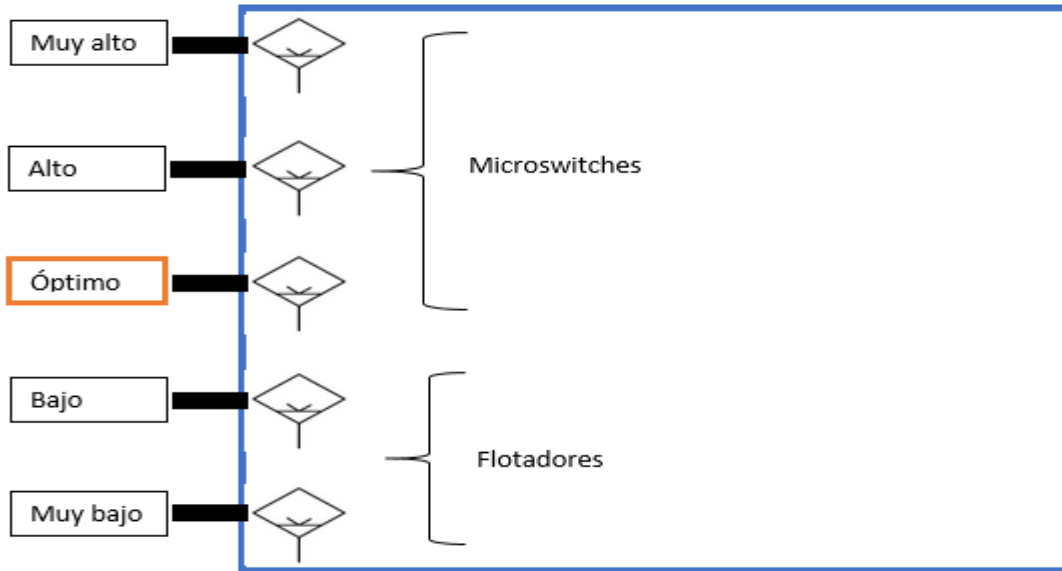
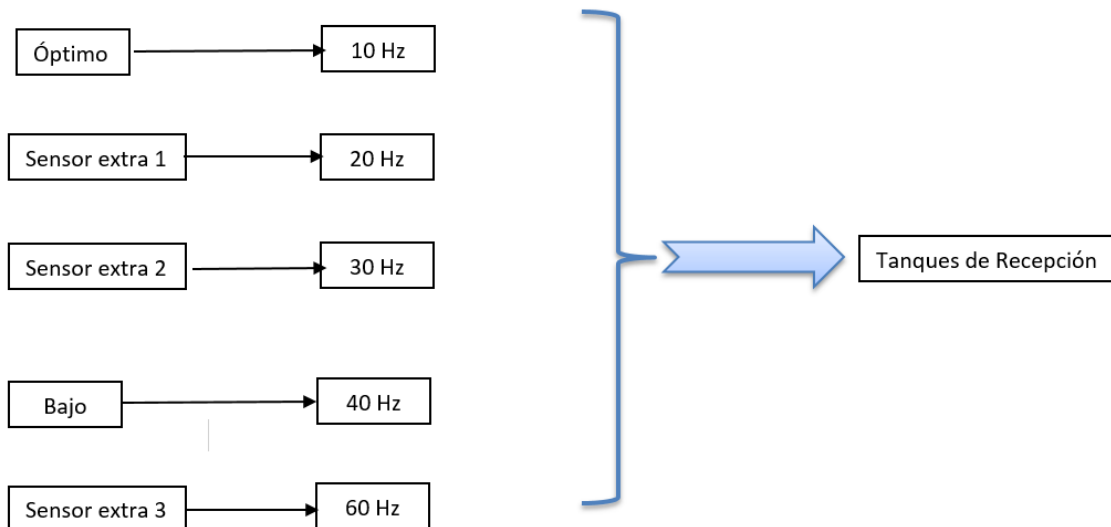


Figura 88. Sensores de nivel. Fuente: Elaboración propia.

Se propone utilizar tres sensores adicionales con el fin de conseguir diferentes frecuencias de trabajo de acuerdo a la condición que se presente.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Los sensores extra 1 y 2 se ubican entre *Óptimo* y *Bajo*, mientras el extra 3 entre *Bajo* y *Muy Bajo*. Las bombas nunca operan cuando el nivel presente en el tanque de distribución se encuentre en *Muy Bajo* para evitar que éstas trabajen en vacío. Sin embargo, para la presente programación no se tendrá en cuenta el estado de los tanques de distribución, pues ya se cuenta con la automatización necesaria para su funcionamiento (véase sesión 3.4.3.2).

De acuerdo con la descripción anterior, las bombas solo operarán en su máxima frecuencia cuando el nivel en los tanques de recepción se encuentre entre los niveles *Bajo* y *Muy Bajo*.

4.3.3 Frecuencias fijas

Con el convertidor MICROMASTER 440 es posible trabajar con diferentes frecuencias. La opción que facilita esta operación se realiza por medio de la parametrización de frecuencias fijas (FF).

Para este diseño se trabajará con el método Bico para la selección de las frecuencias fijas.

“Con la tecnología Bico (Binector Conector Technology) se pueden enlazar datos de proceso mediante parámetros. Los valores enlazables se definen como “conectores” (p. ej. consignas y valores reales de frecuencia, valor real de intensidad, etc.) y las señales digitales enlazables como “binectores” (p. ej. entrada digital de estado, ON / OFF, mensajes cuando se sobrepasan límites, etc.)”. (García y Pubill, 2007).

Las frecuencias fijas se ajustan con los parámetros P1001 – P1015 y se seleccionan mediante entradas de binector P1020 – P1028.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 21

Parámetros para selección de frecuencias fijas.

Parámetro	ParText
P1001	Profibus profile
P1002	Frecuencia fija 2
P1003	Frecuencia fija 3
P1004	Frecuencia fija 4
P1005	Frecuencia fija 5
P1006	Frecuencia fija 6
P1007	Frecuencia fija 7
P1008	Frecuencia fija 8
P1009	Frecuencia fija 9
P1010	Frecuencia fija 10
P1011	Frecuencia fija 11
P1012	Frecuencia fija 12
P1013	Frecuencia fija 13
P1014	Frecuencia fija 14
P1015	Frecuencia fija 15

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 22

Parámetros para selección de frecuencias fijas mediante entradas de binector.

Parámetro	Frecuencia fija (FF)
P1020	Bl: Selección Frecuencia fija Bit 0
P1021	Bl: Selección Frecuencia fija Bit 1
P1022	Bl: Selección Frecuencia fija Bit 2
P1023	Bl: Selección Frecuencia fija Bit 3
P1026	Bl: Selección Frecuencia fija Bit 4
P1028	Bl: Selección Frecuencia fija Bit 5

- **Selección directa**

El procedimiento consiste en una señal binaria prescrita mediante entradas de binector escoge directamente la frecuencia fija. Dado el caso en que se escojan varias frecuencias simultáneamente, éstas se suman.

Tabla 23

Selección directa de frecuencias fijas mediante entradas de binector.

		DIN6	DIN5	DIN4	DIN3	DIN2	DIN1
F0	0 Hz	0	0	0	0	0	0
F1	P1001	0	0	0	0	0	1
F2	P1002	0	0	0	0	1	0
F3	P1003	0	0	0	1	0	0
F4	P1004	0	0	1	0	0	0
F5	P1005	0	1	0	0	0	0
F6	P1006	1	0	0	0	0	0
FF1+FF2		0	0	0	0	1	1
FF1+FF2+FF3+FF4+FF5+FF6		1	1	1	1	1	1

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Es posible seleccionar las frecuencias fijas mediante las entradas digitales y las interfaces en serie.

Tabla 24

Frecuencias fijas para el programa.

Hz		DIN6	DIN5	DIN4	DIN3	DIN2	DIN1
F0	0 Hz	0	0	0	0	0	0
F1 = 10	P1001	0	0	0	0	0	1
F2 = 20	P1002	0	0	0	0	1	0
F3 = 30	P1003	0	0	0	1	0	0
F4 = 40	P1004	0	0	1	0	0	0
F5 = 60	P1005	0	1	0	0	0	0

4.3.4 Declaración de variables

Antes de comenzar con el desarrollo del proyecto en el software Step7 es importante declarar las variables que harán parte del mismo. Las variables se definen de acuerdo a los requerimientos del proceso y éstas pueden ser:

- Entradas (Digitales o análogas)
- Salidas (Digitales o análogas)

En la tabla 24 se definen las entradas que conforman el proyecto de automatización de bombas centrífugas, su simbología, tipo y descripción.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 25

Declaración de entradas digitales.

Símbolo	Dirección	Tipo de dato	Comentario
Start	E124.0	BOOL	Pulsador de inicio
Stop	E124.1	BOOL	Pulsador de paro
DIN5	E124.2	BOOL	Entrada digital para 60 Hz
DIN4	E124.3	BOOL	Entrada digital para 40 Hz
DIN3	E124.4	BOOL	Entrada digital para 30 Hz
DIN2	E124.5	BOOL	Entrada digital para 20 Hz
DIN1	E124.6	BOOL	Entrada digital para 10 Hz

4.3.5 Creación de nuevo proyecto

1. A través del asistente de nuevo proyecto de SIMATIC Step7 se selecciona la clase de CPU del PLC y el tipo del lenguaje de programación. Para este trabajo se ha seleccionado una CPU 314 C-2DP y el modo de programación será en lenguaje KOP (lógica de contactos).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

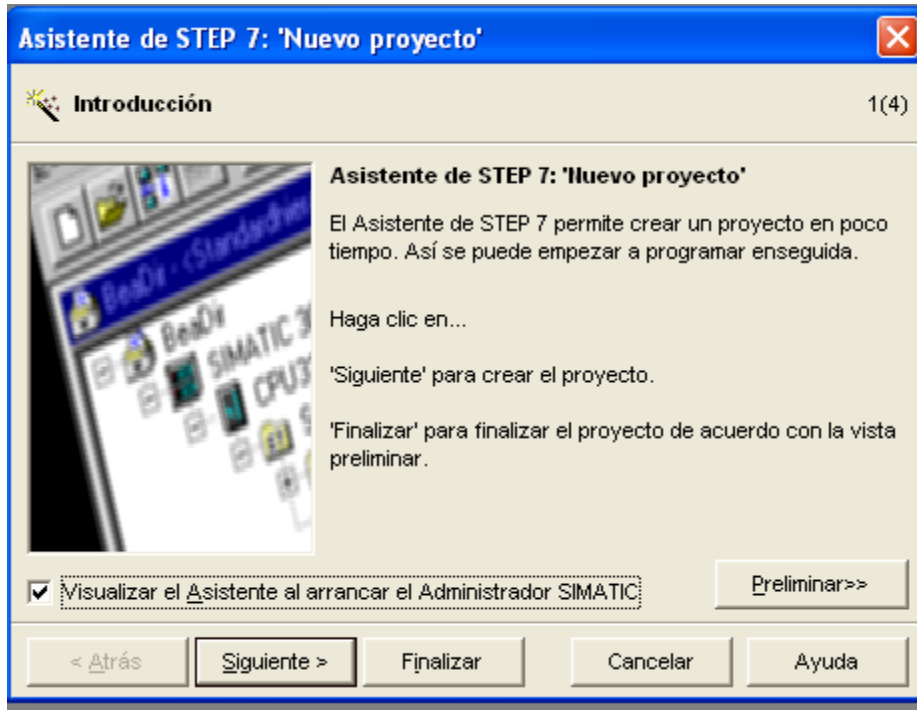


Figura 89. Asistente de nuevo proyecto en SIMATIC Step7. Fuente: Elaboración propia.

2. Selección de la CPU

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

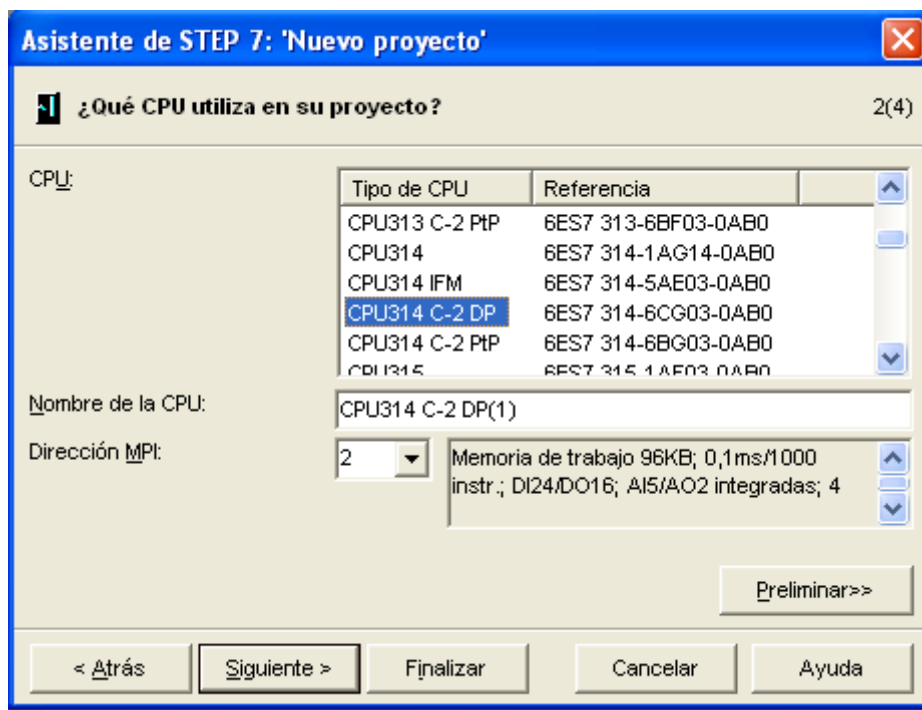


Figura 90. Selección de la CPU 314 C-2DP. Fuente: Elaboración propia.

3. Tipo de lenguaje de programación

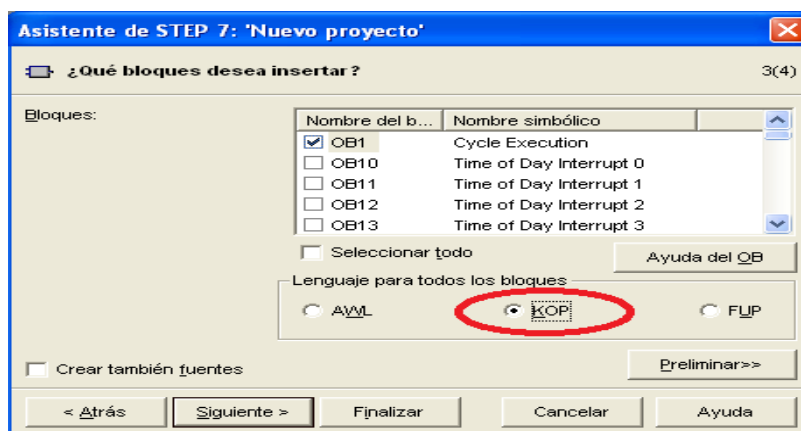


Figura 91. KOP (Lógica de contactos). Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4. Nombre del proyecto

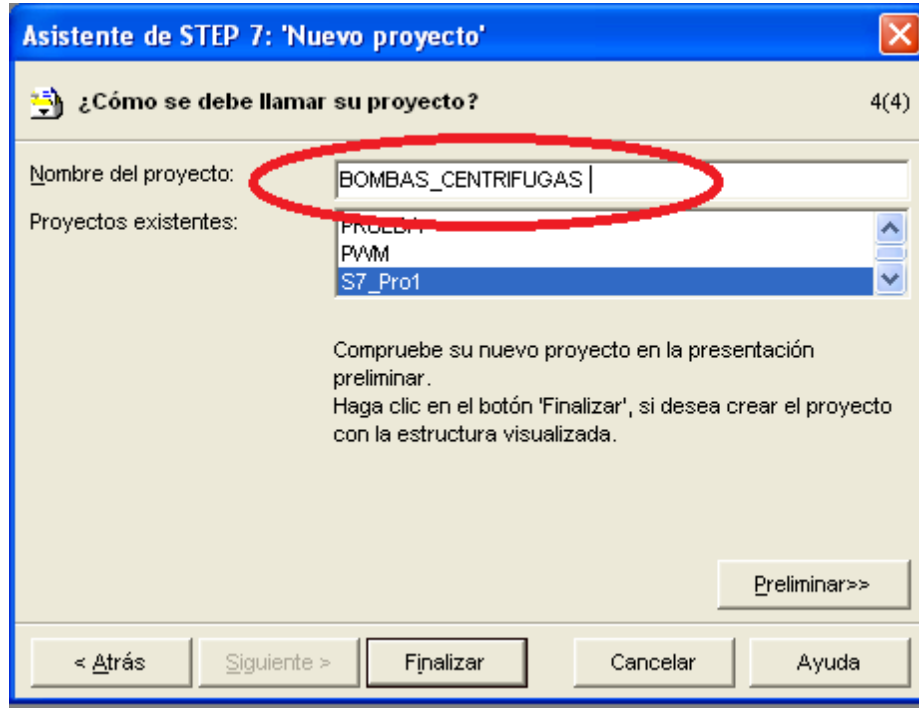


Figura 92. Nombre del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

4.3.6 Configuración de Hardware

Antes de comenzar con la programación es importante realizar la configuración del hardware respectivo. En este caso escoger el equipo que servirá de esclavo para la comunicación entre el PLC y el variador, además de definir el protocolo de comunicación. Esta operación se realiza dentro del menú principal del SIMATIC en la opción Hardware.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

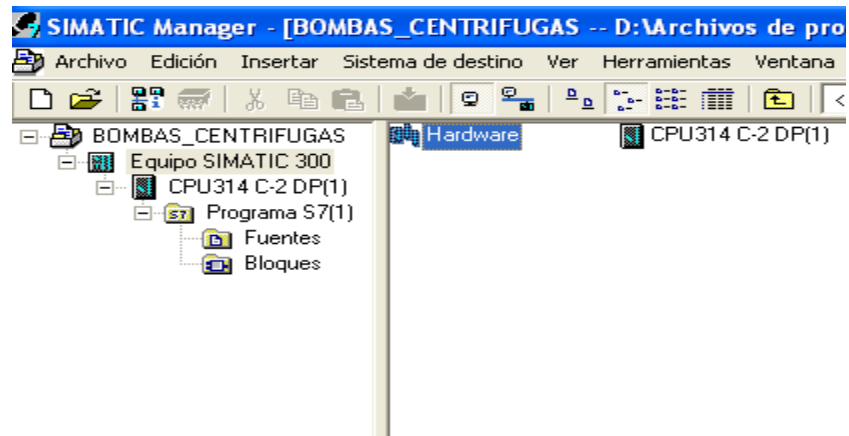


Figura 93. Ruta de acceso para configuración de Hardware. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es seleccionar la opción DP y configurar el tipo de comunicación, que para este caso será vía PROFIBUS.

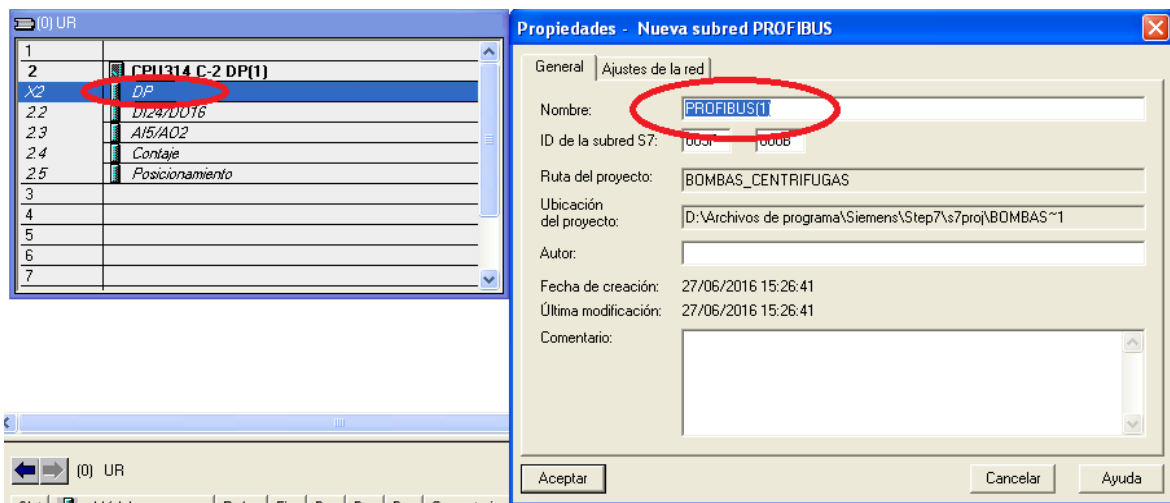


Figura 94. Selección del protocolo de comunicación. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Una vez que se ha establecido PROFIBUS como medio de comunicación se procede ahora a seleccionar el variador MICROMASTER serie 4. En la opción PROFIBUS DP ubicado en la parte derecha se selecciona SMOVERT y a continuación, MICROMASTER 4 y se arrastra la línea del PROFIBUS DP antes creado.

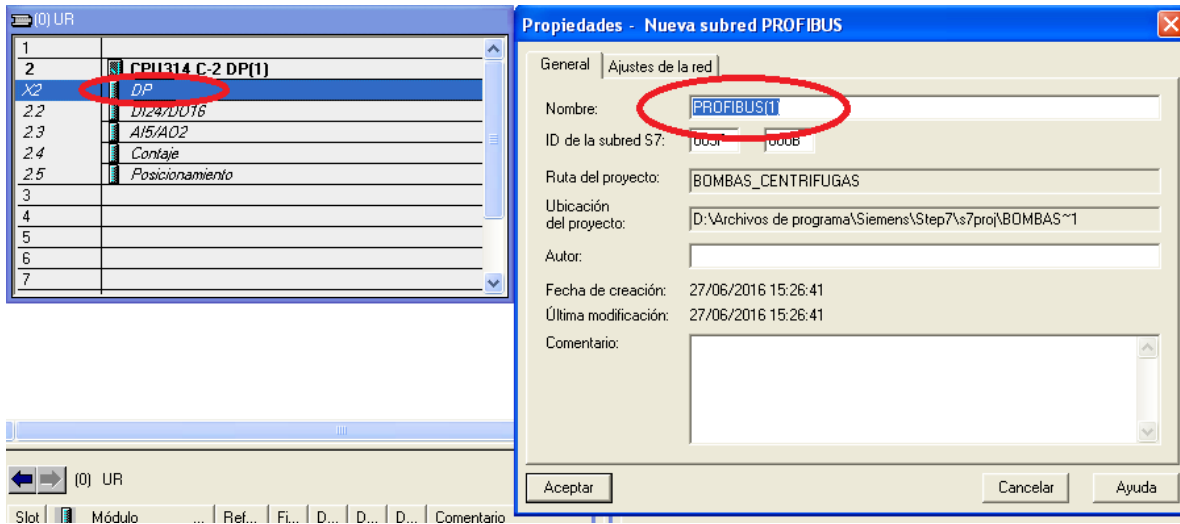


Figura 95. Selección del protocolo de comunicación. Fuente: Elaboración propia.

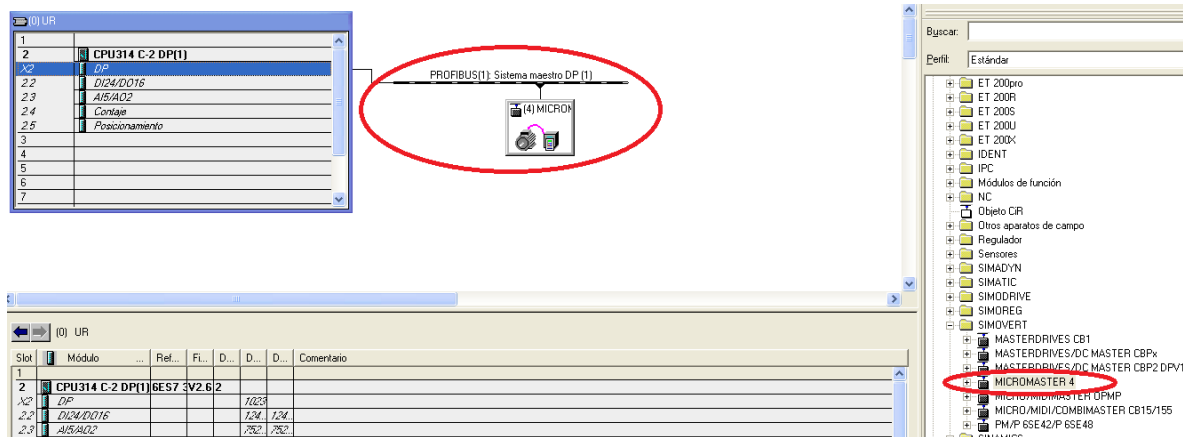


Figura 96. Montaje del MICROMASTER en la línea de comunicación. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Finalmente se guarda y compila la configuración de Hardware.

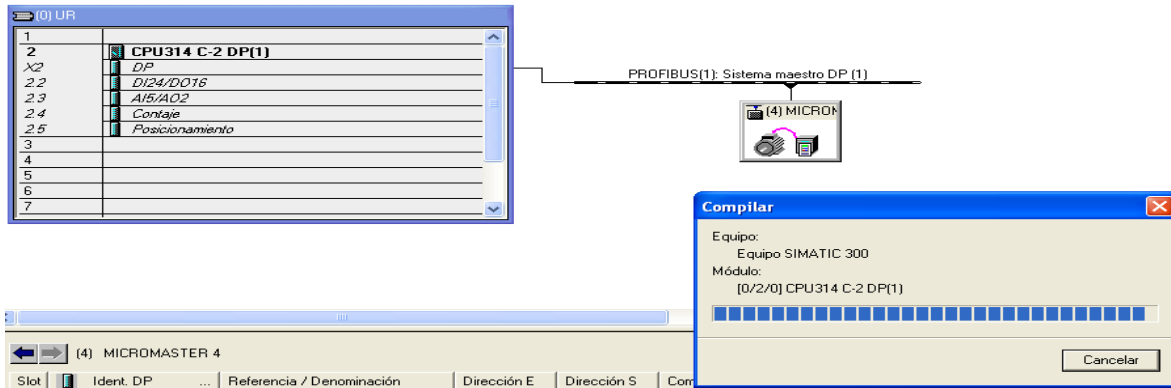


Figura 97. Guardado y compilado. Fuente: Elaboración propia.

4.3.7 Programación

Dentro del menú principal, opción bloques se crea la función FC1 junto con un nombre simbólico representativo del proyecto: “Automatización Bombas”.

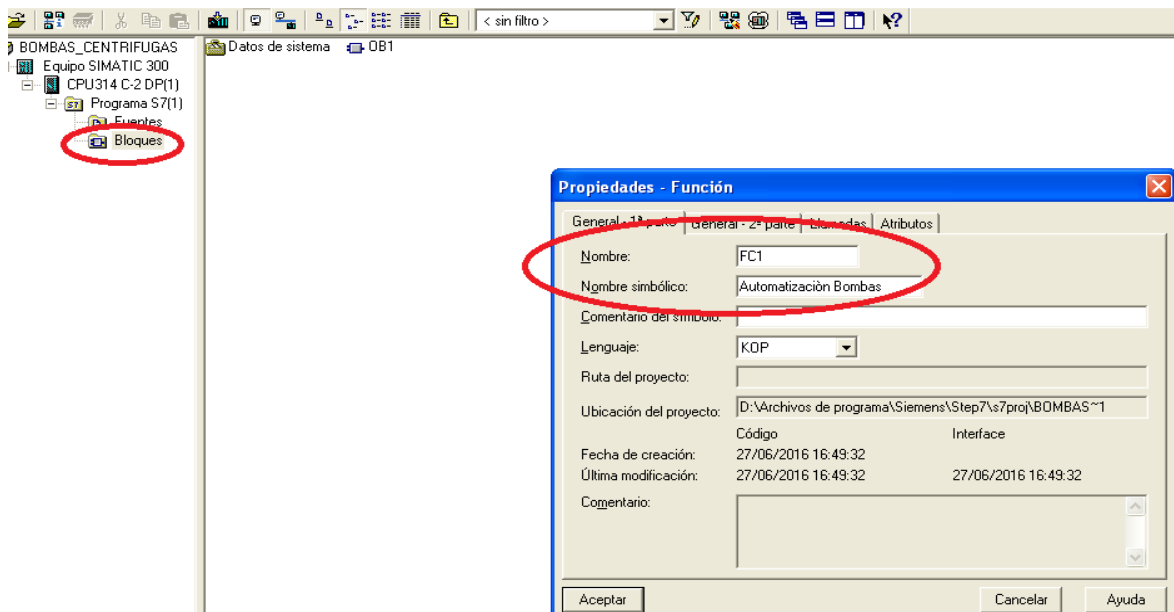
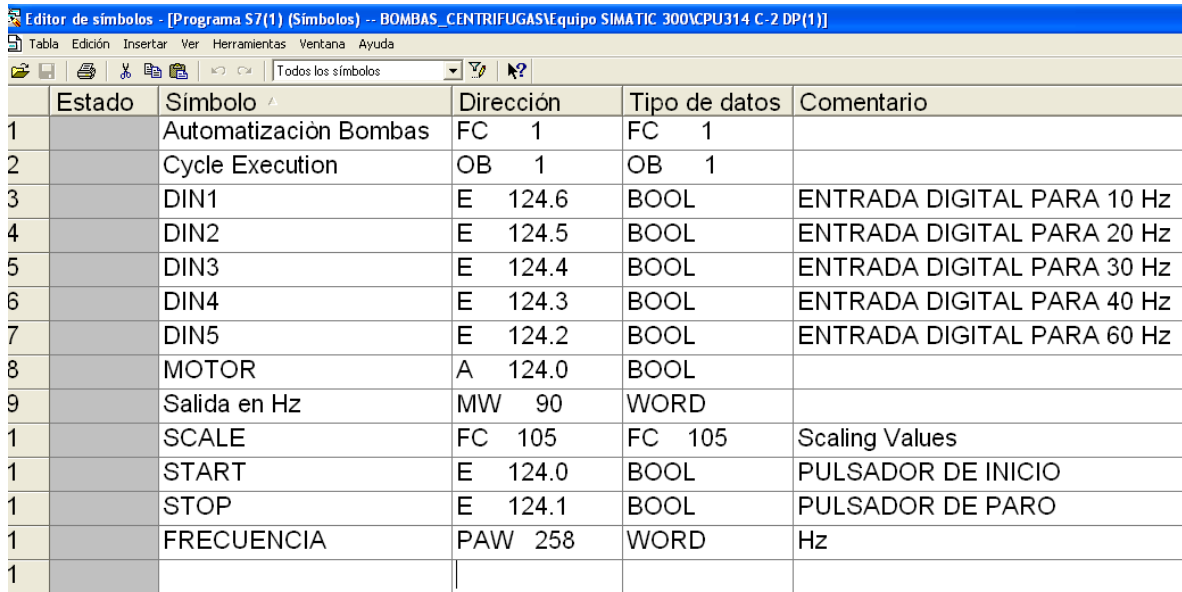


Figura 98. Creación de FC1. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

En la función FC1 se desarrollará todo el programa de automatización. En la figura 99 se observa la tabla de símbolos.



Estado	Símbolo	Dirección	Tipo de datos	Comentario
1	Automatización Bombas	FC 1	FC 1	
2	Cycle Execution	OB 1	OB 1	
3	DIN1	E 124.6	BOOL	ENTRADA DIGITAL PARA 10 Hz
4	DIN2	E 124.5	BOOL	ENTRADA DIGITAL PARA 20 Hz
5	DIN3	E 124.4	BOOL	ENTRADA DIGITAL PARA 30 Hz
6	DIN4	E 124.3	BOOL	ENTRADA DIGITAL PARA 40 Hz
7	DIN5	E 124.2	BOOL	ENTRADA DIGITAL PARA 60 Hz
8	MOTOR	A 124.0	BOOL	
9	Salida en Hz	MW 90	WORD	
1	SCALE	FC 105	FC 105	Scaling Values
1	START	E 124.0	BOOL	PULSADOR DE INICIO
1	STOP	E 124.1	BOOL	PULSADOR DE PARO
1	FRECUENCIA	PAW 258	WORD	Hz
1				

Figura 99. Definición de símbolos. Fuente: Elaboración propia.

El programa viene desarrollado por segmentos. Cada segmento consiste en un arreglo de lógica de contactos (KOP).

En todos los programas de SIMATIC generalmente el primer segmento consiste en la condición de encendido del sistema.

Con el fin de no hacer muy extensa la programación, para este diseño se tomará como modelo algunos segmentos del mismo, ya que la mayoría presenta la misma estructura, pero variando únicamente las condiciones de operación. Un ejemplo de esto, serán las condiciones para activar cada frecuencia fija por medio de las entradas digitales del variador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Segmento 1:

En este segmento se condiciona el encendido y apagado del motor (A124.0) a través del pulsador de inicio (E124.0) y el pulsador de paro (E124.1).

Por medio del bloque SR (Set-Reset) se facilita esta operación.

Segm. 1: Título:

Comentario:

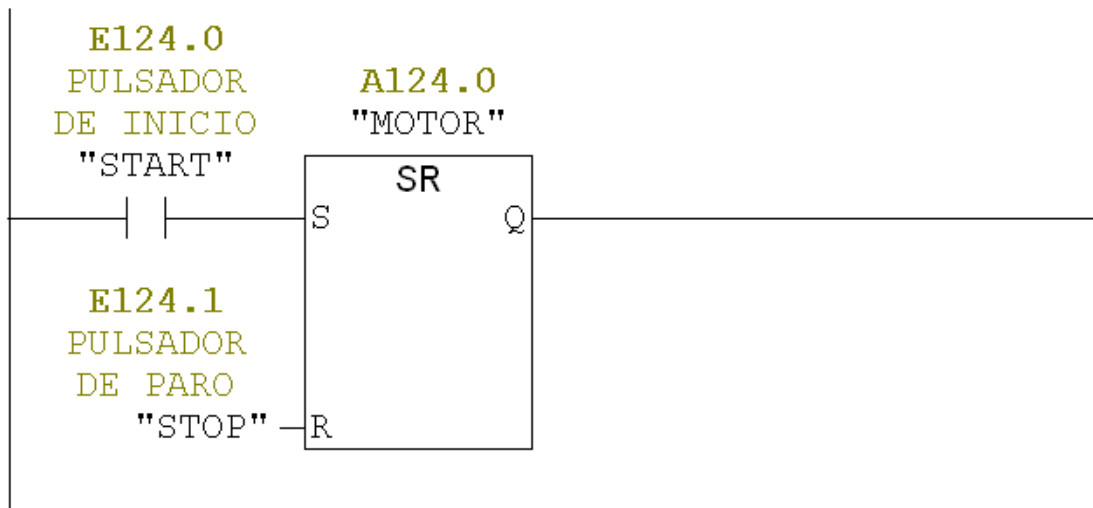


Figura 100. Encendido y apagado del motor. Fuente: Elaboración propia.

- **Segmento 2:**

Se hará uso del bloque de escalización FC105 para la salida en Hz. Activando la opción de ayuda del bloque FC105 encontramos el modo de funcionamiento de la escalización y las características de funcionamiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Escalar valores (SCALE): FC105

La función "Escalar valores" (SCALE) toma un valor entero en la entrada IN y lo convierte en un valor real, convirtiéndolo a escala en un rango comprendido entre un límite inferior y un límite superior (LO_LIM y HI_LIM). El resultado se escribe en la salida OUT. La función SCALE aplica la fórmula siguiente:

$$OUT = [((FLOAT (IN) - K1)/(K2-K1)) * (HI_LIM-LO_LIM)] + LO_LIM$$

Las constantes K1 y K2 se aplican de forma diferente, dependiendo de si el valor de entrada es BIPOLAR o UNIPOLAR.

- BIPOLAR: Se supone que el valor entero de entrada debe estar entre -27648 y 27648, por lo tanto, K1 = -27648.0 y K2 = +27648.0
- UNIPOLAR: Se supone que el valor entero de entrada debe estar entre 0 y 27648, por lo tanto, K1 = 0.0 y K2 = +27648.0

Los valores para la frecuencia del motor solo se deben escalar dentro del rango de 0 – 27648.

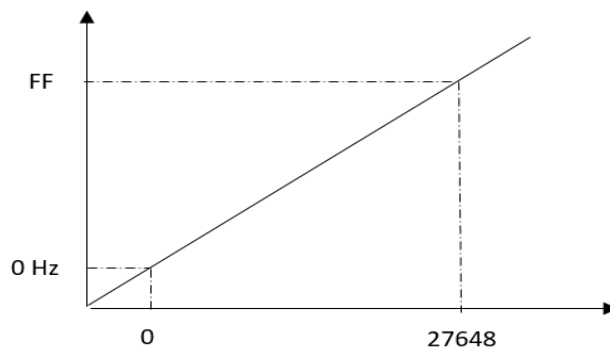


Figura 101. Escalización. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

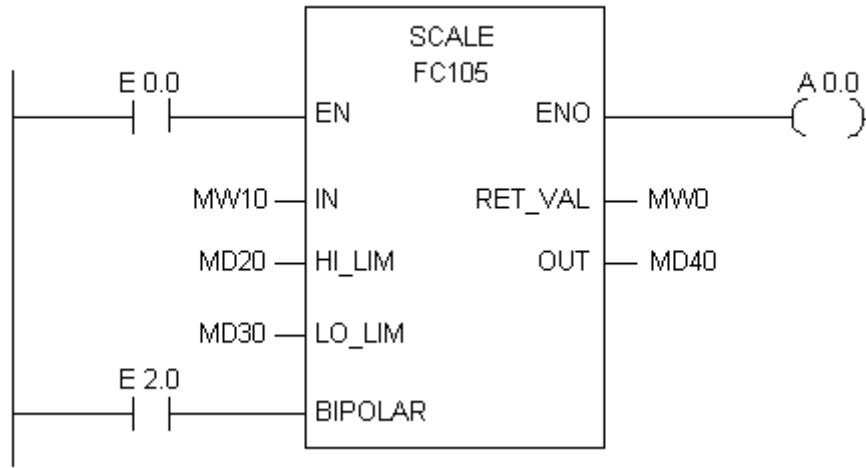


Figura 102. Bloque de escalización. Fuente: Elaboración propia.

En el segundo segmento se cuenta como condición de activación a la entrada digital E124.2 (Para 60 Hz). La salida se guarda en la marca MD60. El bloque funciona igualmente para activar el resto de las frecuencias fijas, cambiando únicamente la condición de activación de la entrada digital, de acuerdo a las que se definieron. (Ver tabla 24).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Segm. 2: Título:

Comentario:

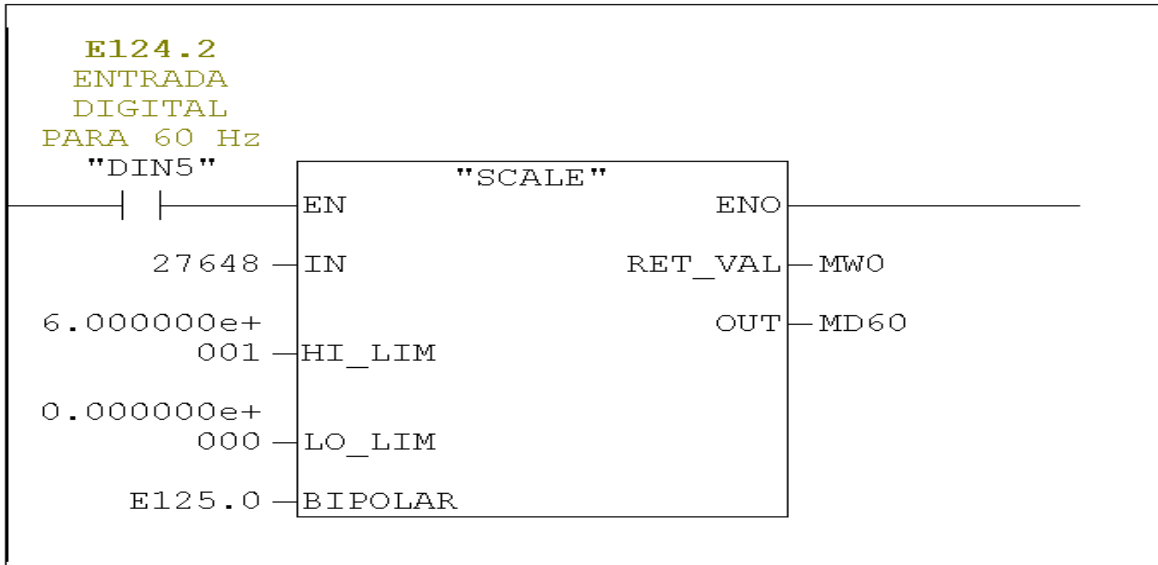


Figura 103. Condición para 60 Hz. Fuente: Elaboración propia.

- **Segmento 3:**

El valor de la frecuencia escalizada en el segmento anterior (doble palabra) debe convertirse a Word para obtener un valor real. Esta operación se realiza por medio del bloque MOVE.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Segm. 3: Título:

Comentario:

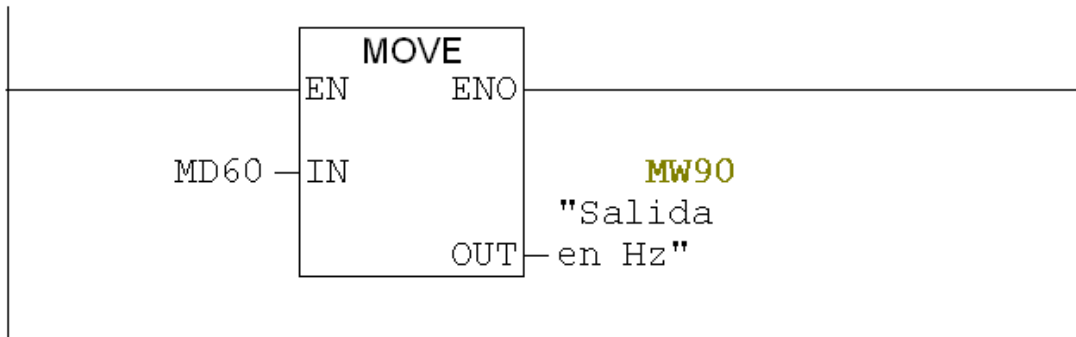


Figura 104. Salida real de la frecuencia. Fuente: Elaboración propia.

Segmento 4:

La salida real de la frecuencia (MW90) se mueve a la salida física PAW258.

Segm. 4: Título:

Comentario:

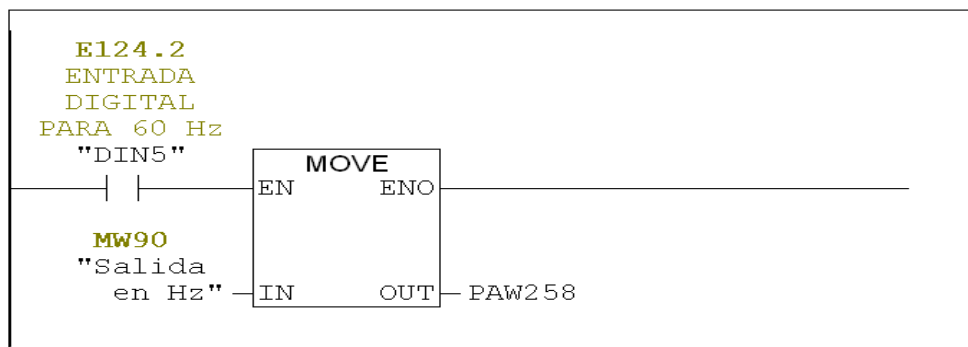


Figura 105. Activación de la salida física PAW258 del motor. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Para el resto de las frecuencias se procede de idéntica forma a partir del segundo segmento. Cambiando la entrada digital según sea el caso (DIN1, DIN2, DIN3,...) para cada valor de frecuencia.

Hasta aquí se plantea la propuesta de diseño energético para el área de Bombas Centrífugas del edificio. En el capítulo 5 (Análisis de resultados) se discutirán los alcances y beneficios que sugiere la implementación del convertidor MICROMASTER 440 y el programa de automatización tomando como referencia los resultados obtenidos de las mediciones efectuadas con el analizador de redes Fluke 434-II en las condiciones actuales de operación de los equipos. Se analizará cómo se puede lograr un ahorro significativo con solo reemplazar el tipo de arrancador actualmente en operación por el variador.

4.4 Sistema eléctrico Máquinas dispensadoras de café y agua

Se finaliza este capítulo presentando el programa de ahorro energético para las máquinas dispensadoras de café y agua.

A continuación, se describe el plano de conexión eléctrica actual junto con la conexión eléctrica que se propone y los argumentos para llevarlo a cabo.

Los diagramas de conexiones eléctricas se realizaron en el software CADe_SIMU.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.4.1 Plano de conexión eléctrica actual

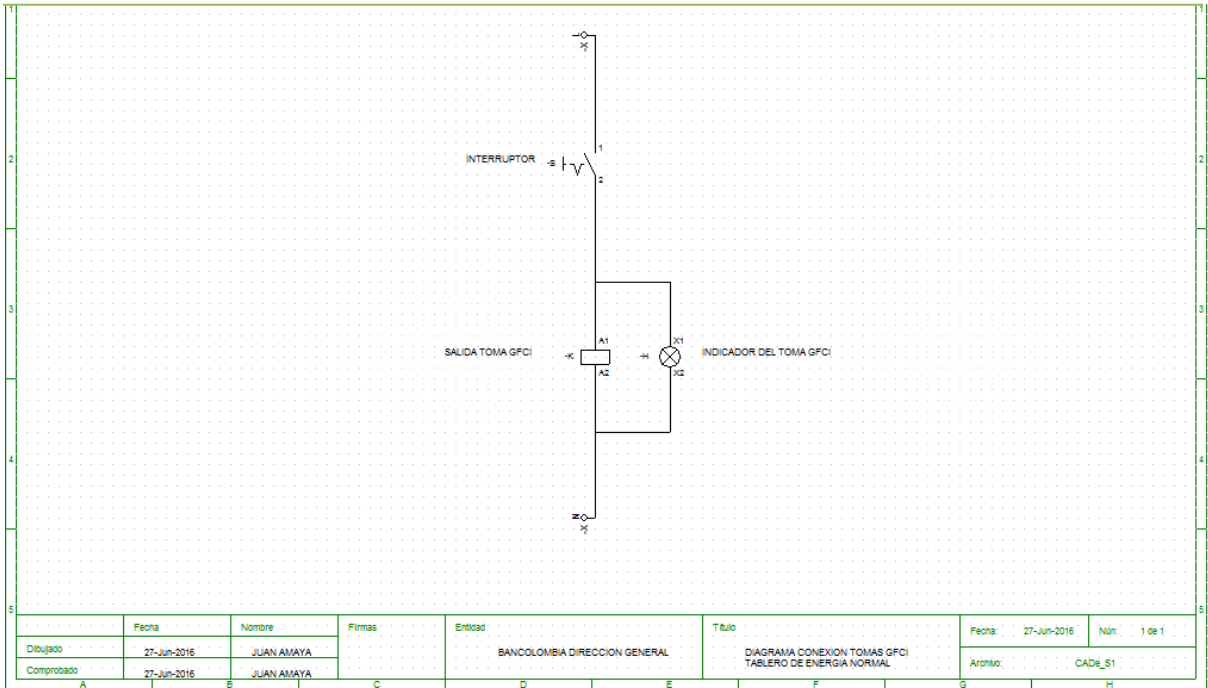


Figura 106. Diagrama típico de conexión de tomas GFCI, tablero de energía normal, Bancolombia Dirección General. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.4.2 Automatización del sistema de alimentación eléctrica

Como se pudo detallar en el numeral 3.4.3.4 y 4.3.1, la conexión actual no tiene ningún tipo de automatismo para controlar el funcionamiento de las máquinas dispensadoras de café y agua.

El objetivo es reemplazar el circuito que alimenta los tomas GFCI del tablero de energía normal con el mismo tipo de alambre, e instalarlo en un interruptor termomagnético del tablero PowerLink G3, como fuente de alimentación, conservando la misma protección de 20 amperios. Ambos tableros se encuentran a una distancia muy similar al interior de los cuartos técnicos, por lo cual resulta sencillo realizar el cambio de un tablero a otro sin necesidad de empalmes o de instalar cajas de distribución. Los diferentes cuartos técnicos cambian la ubicación de los tableros eléctricos dependiendo del sector que estén alimentando. (Ver figuras 107, 108 y 109).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tableros PowerLink G3

Tableros de energía normal



Figura 107. Cuarto Eléctrico Piso 6 Sector C, Bancolombia Dirección General. Fuente: Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

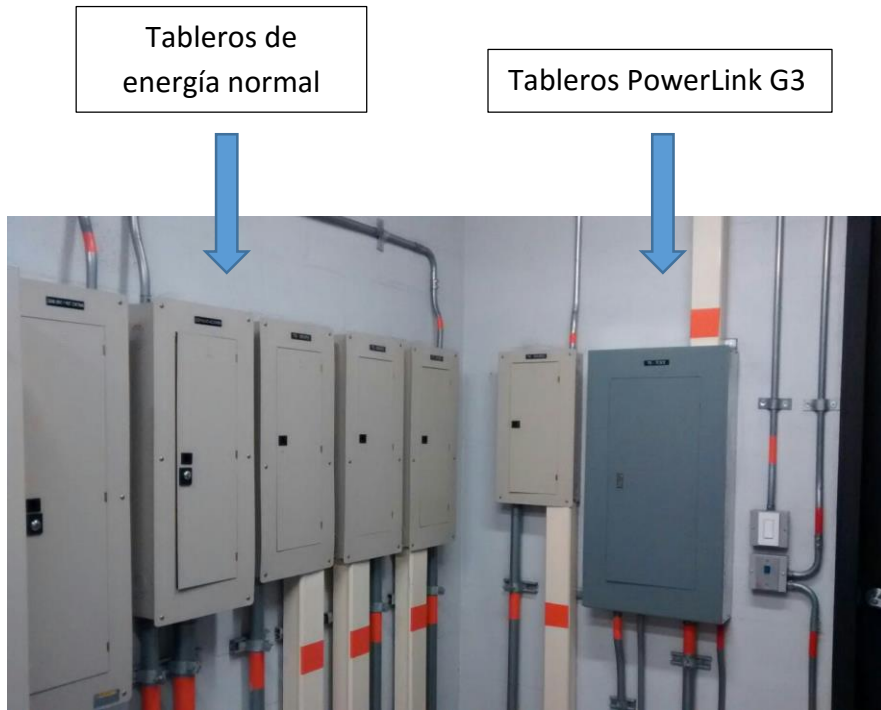


Figura 108. Cuarto Eléctrico Piso 9 Sector E, Bancolombia Dirección General. Fuente:
Elaboración propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

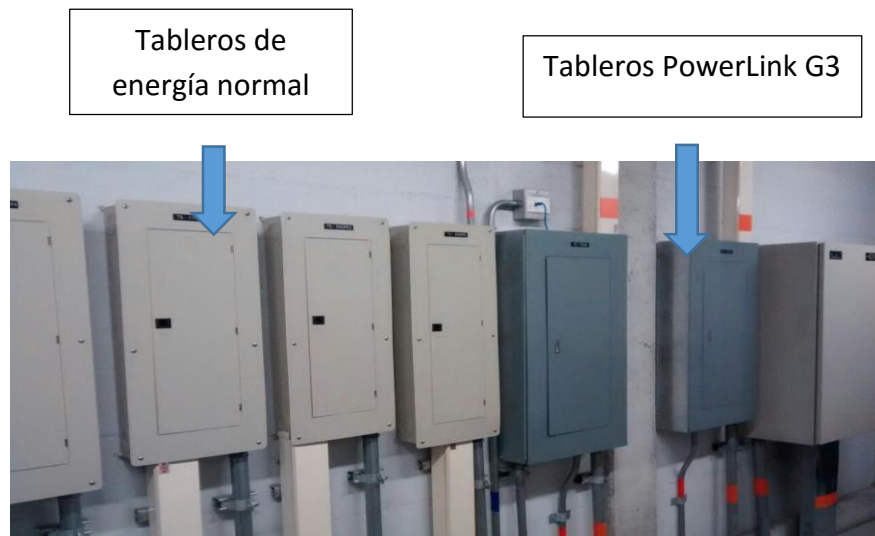


Figura 109. Cuarto Eléctrico Piso 8 Sector D, Bancolombia Dirección General. Fuente:
Elaboración propia

Con base en la tabla de consumos de energía realizada en el capítulo 3, se puede controlar los horarios de operación de las máquinas dispensadoras según el criterio de viabilidad de ahorro energético.

El horario de operación de las máquinas se ajusta mediante el software PowerLink, el cual se encuentra instalado en varios ordenadores en el Centro Integrado de Gestión, ubicado en el Mezanine de la torre sur; dependencia de Sodexo S.A., que es la administración, donde además se controlan diversos sistemas automáticos de los edificios.

Es posible configurar los horarios de operación en días, horas y minutos; también se puede programar la operación en días festivos o según los requerimientos. (Ver figura 110).

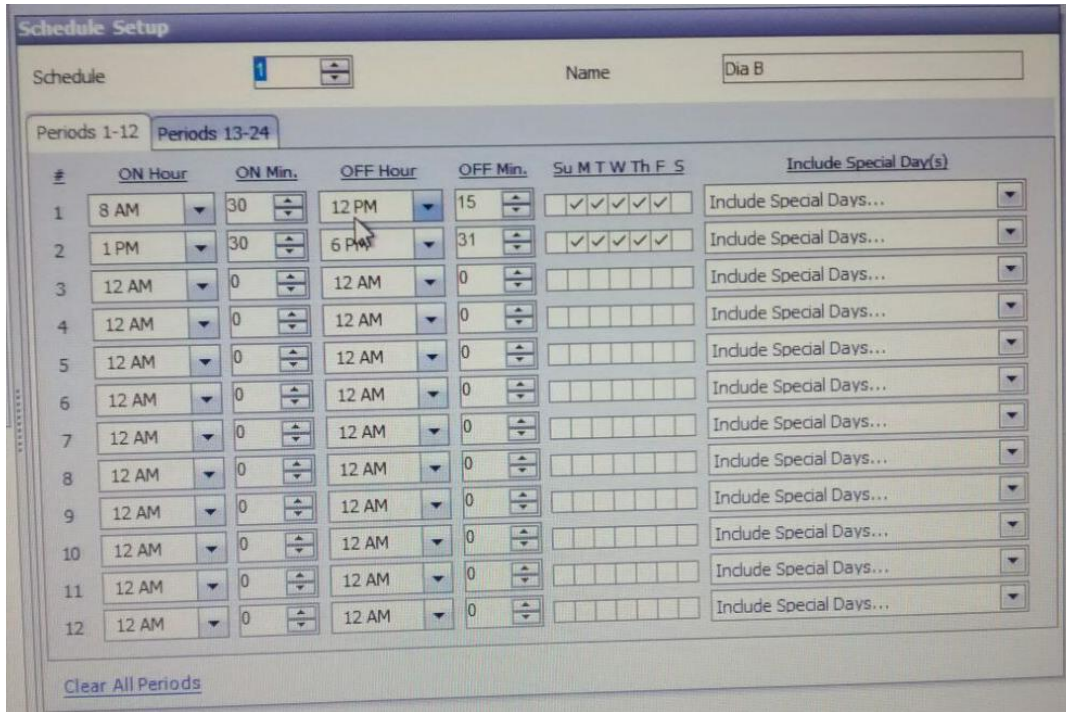


Figura 110. Pantallazo de los horarios de programación del software PowerLink. Fuente: Elaboración propia

Se puede visualizar el estado en que se encuentra los circuitos, así como también forzar las señales desde el software PowerLink, en la columna de Status, simplemente activando o desactivando un bit en los cuadros que aparecen de color verde y blanco, teniendo presente que el selector del interruptor debe estar en estado automático en el tablero PowerLink; si el selector se encuentra en manual solo es posible operarlo desde el mismo tablero, y en la columna de Status del software, se observaría un cuadro de color rojo solo indicando el estado en que se encuentra. (Ver figura 111)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Panel 0 - TCWAE-D

#	Circuit Name	Status	#	Circuit Name	Status
1	Circ OB Or - PF3	OFF	2	Circ OB Or - E	OFF
3	Circ OB Oc - PF3	OFF	4	Circ OB Or - E	OFF
5	Vestier Mujeres	ON	6	Circ OB Oc - E	OFF
7	Sala Ritmica	OFF	8	Turco Mujeres	ON
9	Sala nueva era	ON	10	Turco Hombres	ON
11	Consu Nutri Maso	ON	12	Pasillo oficinas	ON
13	Vestier Hombres	ON	14	Peso Libre	OFF
15	WC Damas	ON	16	Multifuncional	OFF
17	WC Hombres	ON	18	Terraza	OFF
19	Z Info Cafe Gimn	OFF	20	Sala Peso Selecc	OFF
21	Recep-Fisioterap	ON	22	Sala Peso Libre	OFF
23	Circ OB Oc - E	OFF	24	Reserva Cableada	OFF
25	Sala Spining	OFF	26	UMA	ON
27	UMA	ON	28	Pasil Caldera Oc	OFF
29	Sala Profesor	ON	30	Pas Mur Oc Sec D	OFF
31	Hall Maquinas	ON	32	Pas Mur Or Sec D	OFF
33	Z Info Cafe Gimn	OFF	34	Salud Ocupaciona	ON
35	Uma	ON	36	Cons Deportolog	ON
37	C Potencia	ON	38	Aletas 28/31 D	ON
39	Aletas 28/31 F	MANUAL ON	40	Aletas 28/31 D	MANUAL ON
41	Aletas 28/31 F	MANUAL ON	42	Uma	ON

Figura 111. Estado de los interruptores PowerLink. Fuente: Elaboración propia

Cuando el interruptor se dispara por sobrecarga o cortocircuito también es posible visualizarlo en el sistema con un cuadro de color rojo como Tripped, pero solo se puede reponer físicamente en el tablero PowerLink como un interruptor común. (Ver figura 112)

Refresh Rate: 10 sec Last Update: 21/06/2016 11:06:36 AM

Panel 2 - TCIPF3

#	Circuit Name	Status	#	Circuit Name	Status
1	Ind PF Oriente	<input type="checkbox"/> ON	2	WC Discapacitado	<input type="checkbox"/> ON
3	Ind PF Occidente	<input checked="" type="checkbox"/> OFF	4	Nubes PF Oriente	<input checked="" type="checkbox"/> OFF
5	Ind Pan SurOr	<input type="checkbox"/> ON	6	OB Pasillo WC	<input checked="" type="checkbox"/> OFF
7	UMA Occidental	<input type="checkbox"/> ON	8	OB WC Mujeres	<input type="checkbox"/> ON
9	Ind PF Oriente	<input checked="" type="checkbox"/> OFF	10	OB WC Hombres	<input type="checkbox"/> ON
11	Ind PF Occidente	<input checked="" type="checkbox"/> OFF	12	Reserva	<input checked="" type="checkbox"/> OFF
13	OB Pasillo UMA	<input type="checkbox"/> ON	14	Nubes PF Occiden	<input checked="" type="checkbox"/> OFF
15	C. Util - UMA	<input type="checkbox"/> ON	16	Reserva	<input checked="" type="checkbox"/> OFF
17	C. Tecnico	<input type="checkbox"/> ON	18	Tipo Q Hall PF3	<input checked="" type="checkbox"/> OFF
19	C. Tecnico-UMA	<input type="checkbox"/> ON	20	OB Pas Montacarg	<input type="checkbox"/> ON
21	Circ Montacarga	<input type="checkbox"/> ON	22	OB WC Mujeres	<input type="checkbox"/> ON
23	Pasillo Esc Emer	<input type="checkbox"/> ON	24	C. Comunicacione	<input type="checkbox"/> ON
25	Ind Pan NorOr	<input type="checkbox"/> ON	26	OB Eje 30/31	<input type="checkbox"/> ON
27	Circ Ind Oriente	<input checked="" type="checkbox"/> OFF	28	Hall asc lat	<input type="checkbox"/> ON
29	Ind Pan Occident	<input checked="" type="checkbox"/> OFF	30	Hall asc cen	TRIPPED <input checked="" type="checkbox"/> OFF
31			32		
33			34		
35			36		

Figura 112. Estado de los interruptores PowerLink. Fuente: Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.4.2 Diagrama de conexión eléctrica propuesto

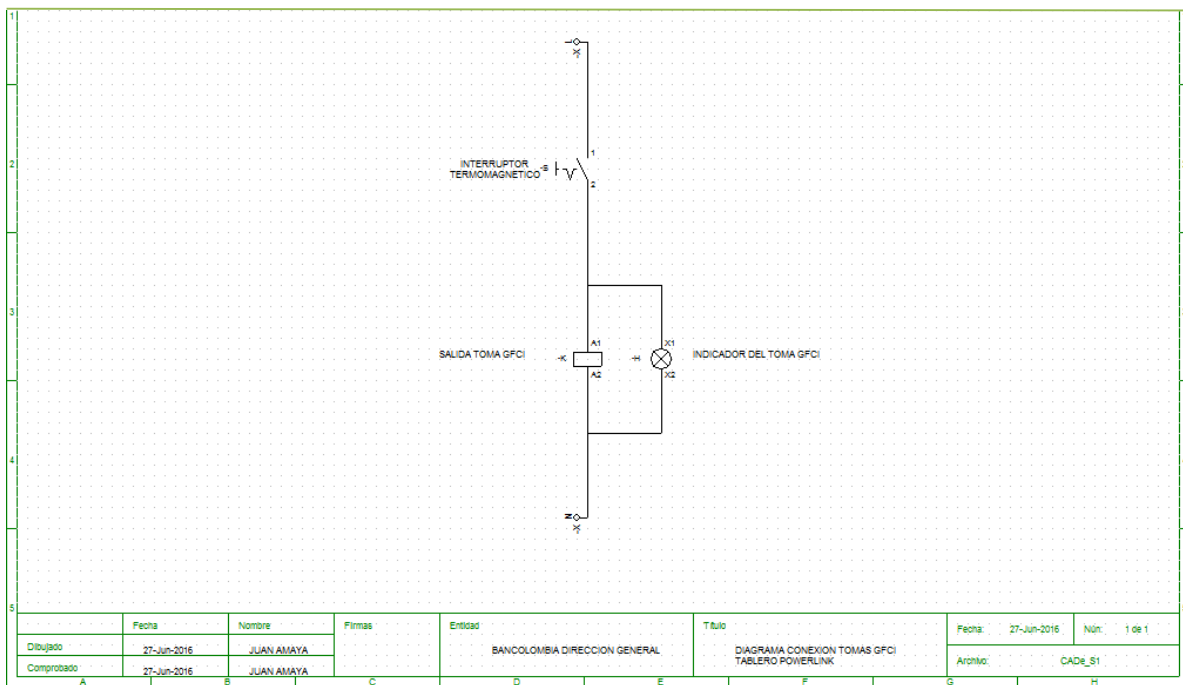


Figura 113. Diagrama de conexión eléctrica propuesto de tomas GFCI, tablero PowerLink.

Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el capítulo 4 (Metodología) se presentó un breve análisis del comportamiento de los motores trifásicos en el momento del arranque. Se confrontaron los resultados teóricos y prácticos del arrancador Estrella-Delta con base a las mediciones de consumo eléctrico realizadas mediante el analizador de redes Fluke 434-II. Dentro del análisis se pudo comprobar cómo en el momento del arranque de los motores trifásicos se presenta una sobre intensidad debida a este tipo de arranque.

En la sesión 4.4 del mismo capítulo se detalló el programa de mejoramiento para el funcionamiento de las máquinas dispensadoras de café y agua a partir de un pequeño automatismo mediante el PowerLink G3.

El objetivo de este capítulo es presentar en forma detallada los resultados obtenidos a partir de las mediciones efectuadas con el analizador de redes Fluke 434-II y realizar un análisis que confronte las soluciones propuestas en la Metodología. El plan a seguir en el presente capítulo se divide en las siguientes secciones:

1. Bombas Centrífugas

- Exposición y análisis de los resultados (gráficas) generadas por el software PowerLog 430-II correspondientes a las mediciones de consumo y calidad de la energía eléctrica en bombas centrífugas.
- Estudio y análisis de las ventajas del uso del variador de velocidad frente a las condiciones de funcionamiento actuales.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Evaluación de cada uno de los parámetros de la medición en términos de costos actuales generados vs costos programa de ahorro energético.

2. Ahorro en Bombas y Máquinas dispensadoras de café y agua

- Cálculo de los costos generados por las máquinas durante los tiempos programados para su operación.

5.1 Bombas centrífugas

5.1.1 Gráficas de consumos

En esta sesión se recopilan todas las gráficas concernientes a las mediciones de consumo y calidad de la energía eléctrica de las bombas centrífugas. Se expone un análisis de cada una de las mediciones en el mismo orden en que fueron compiladas por el software PowerLog 430 II.

5.1.1.1 Tensión y corriente

En las figuras 114 y 115 (Torre norte y sur respectivamente) se observa el detalle del comportamiento de la tensión y corriente (superior e inferior) para cada una de las tres fases (A, B y C) en el horario comprendido entre las 10:00 am y 12:45 pm.

En el capítulo 4 se analizó cómo en el momento del arranque del motor hay una sobre intensidad (línea roja en el diagrama de intensidad). En las siguientes figuras se

complementa este análisis junto con la tensión. En el horario establecido, se puede notar una mayor actividad en la operación de las bombas, habiendo generalmente durante el día una mayor caída de tensión debido a los arranques continuos de las bombas y sus elevadas corrientes de arranque; a esto se suma otras cargas distintas que están alimentadas del mismo circuito al interior del banco, como también las caídas de tensión debido a que el mismo circuito que alimenta torre sur y torre norte están alimentando la zona industrial de barrio Colombia y Ciudad del Río, donde por lo general vamos a encontrar cargas inductivas generadas por bobinas y devanados, por lo cual perjudica el factor de potencia, se aumentan las pérdidas en forma de calor debido a la potencia reactiva y las ondas de tensión y corriente sufrirán distorsiones como se aprecia en las figuras 114 y 115.

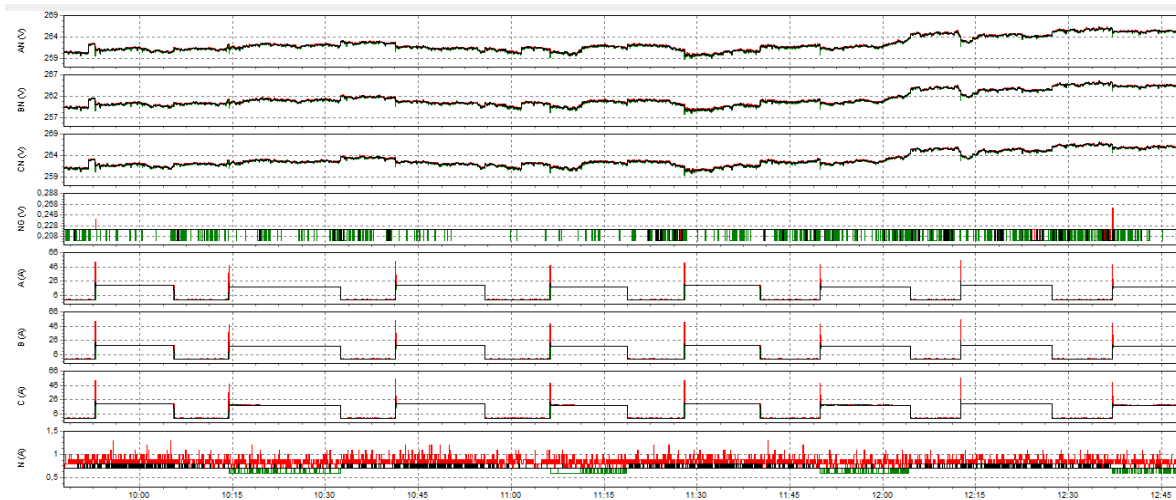


Figura 114. Tensión y corriente (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

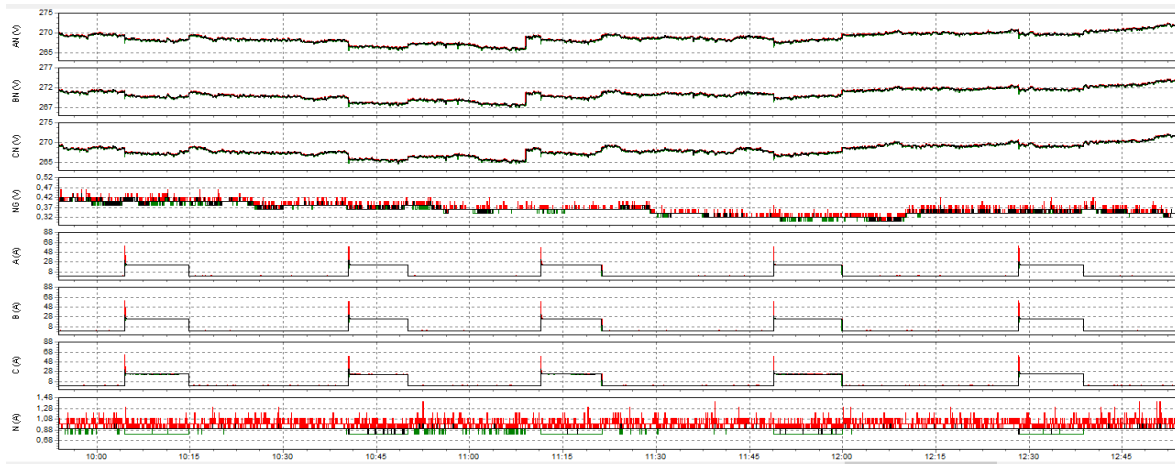


Figura 115. Tensión y corriente (Torre Sur). Fuente: Elaboración propia.

En la figura 116 se ha realizado una ampliación (zoom) de los diagramas anteriores para detallar el comportamiento de la intensidad para el momento en que el motor hace el cambio de Estrella a Delta. Se observa que existe un pico de intensidad cuando arranca en Estrella, posteriormente hay una caída de intensidad durante la transición a Delta, generando un sobre pico antes de llegar al valor nominal.

Las consecuencias de estos picos y sobre picos se refleja en el desgaste de los conductores, un aflojamiento en los bornes de la potencia, tanto en la bornera del motor como en los del relé térmico, produciendo un mayor aumento de la corriente debido al mal contacto eléctrico y una pérdida de energía eléctrica en forma de calor.

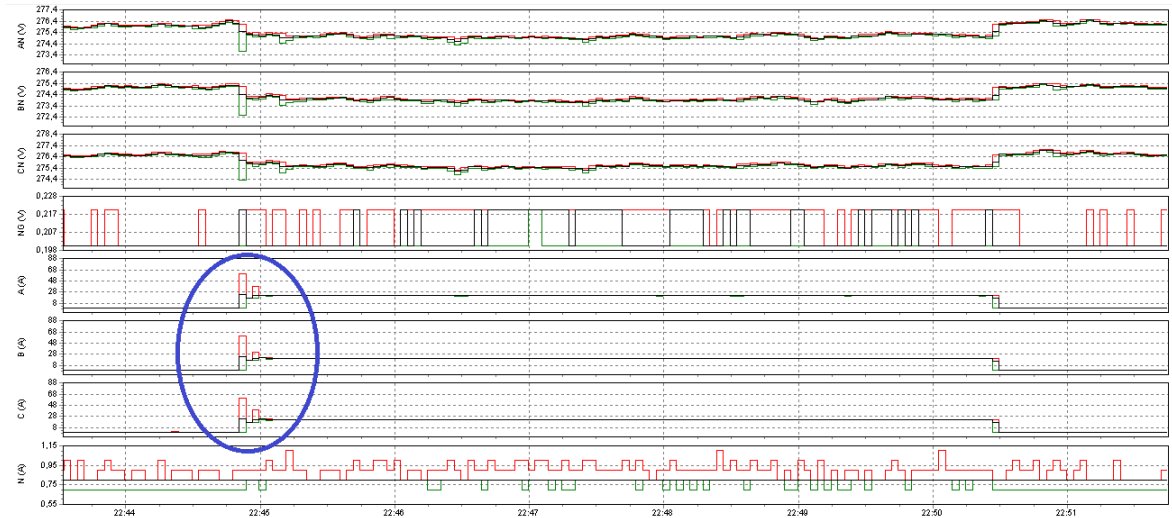


Figura 116. Cambio de Estrella a Delta (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2 Frecuencia / Desequilibrio

De acuerdo al manual de uso Power Log (2007) la pantalla de desequilibrio muestra el desequilibrio de tensiones (%) en sistemas multifásicos. Es una medida importante en el caso de motores eléctricos, ya que se calientan más cuando la tensión no está equilibrada. El método de cálculo utilizado es la proporción de componentes simétricos de secuencia positiva dividido por los componentes de secuencia negativa. Éste es el método de medición definido por el estándar internacional IEC 61000-4-30. Desafortunadamente el equipo de medición utilizado para el banco no tiene disponible esta opción, solo el de frecuencia, ya que el desequilibrio no está disponible en todos los instrumentos.

En las figuras 117 y 118 se ofrece las gráficas de frecuencia para el horario comprendido entre las 2:50 pm y 3:12 pm.

En el *eje x* el tiempo, en el *eje y* la frecuencia.

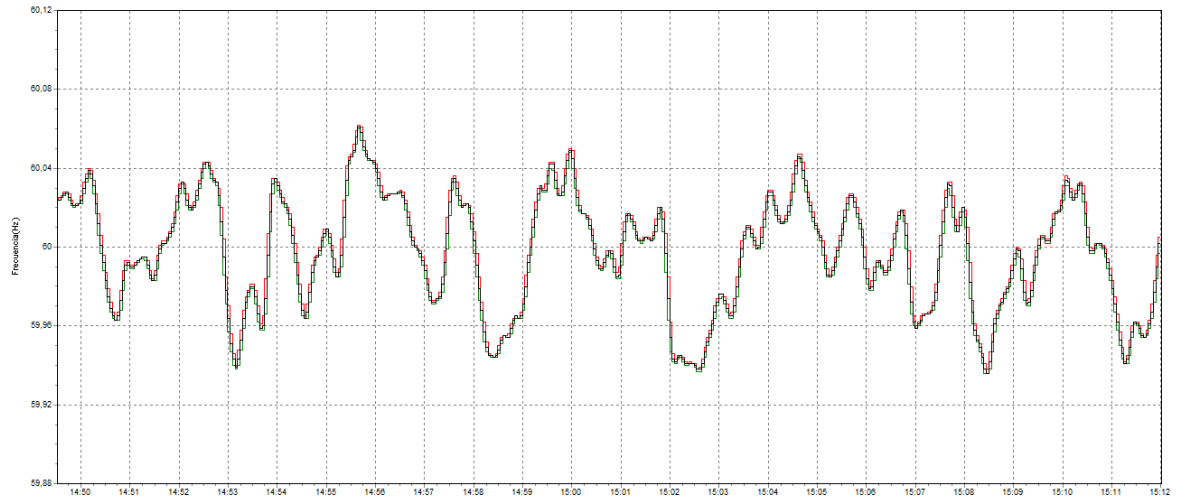


Figura 117. Frecuencia (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

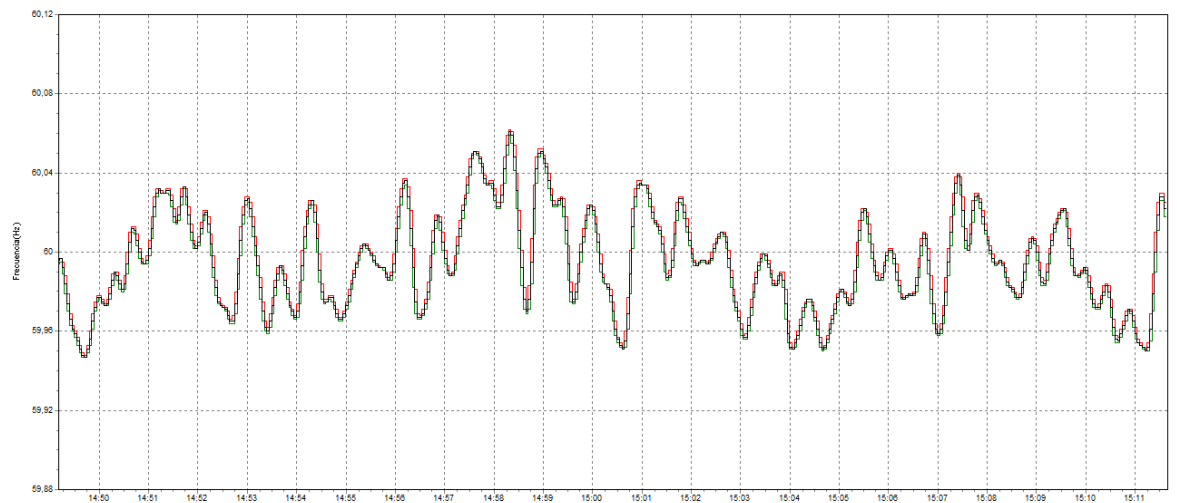


Figura 118. Frecuencia (Torre Sur). Fuente: Elaboración propia.

Las figuras 117 y 118 muestran el comportamiento típico y normal de un motor de inducción operando a su frecuencia nominal.

5.1.1.3 Potencia

Se muestra todos los valores de potencia para cada una de las fases (superior) y la potencia total (inferior). La ficha Potencia del software permite filtrar entre las diferentes opciones de potencia (Activa, Aparente y Reactiva) en W , kVA y $kVAr$ respectivamente; al igual que el $\cos\phi$ y el factor de potencia.

Para las figuras 119 y 120 se ha filtrado únicamente para la potencia activa. La pantalla muestra los cambios durante un periodo de tiempo, en este caso se ha seleccionado el horario comprendido entre las 2:15 pm y las 5:00 pm.

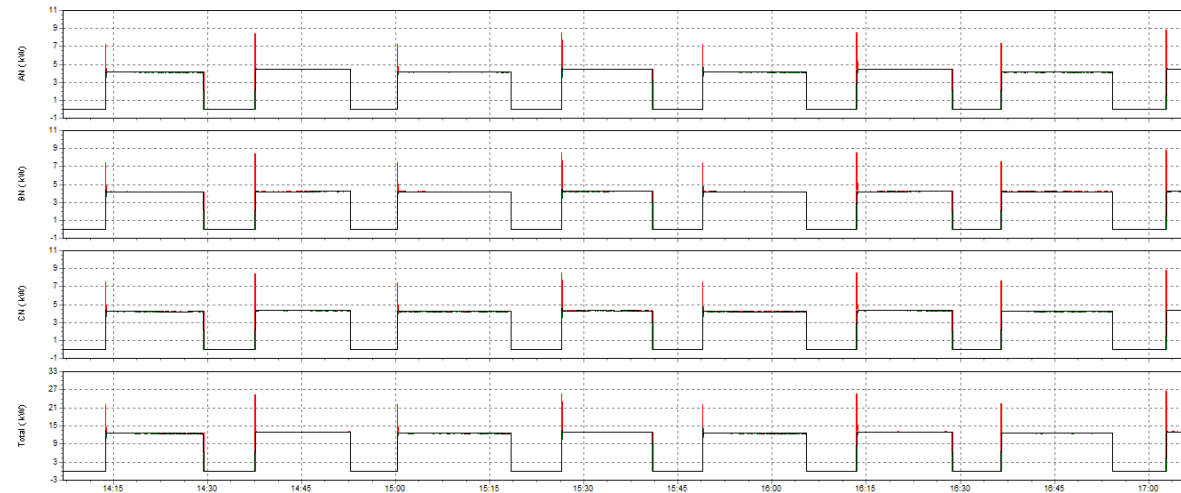


Figura 119. Potencia Activa (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

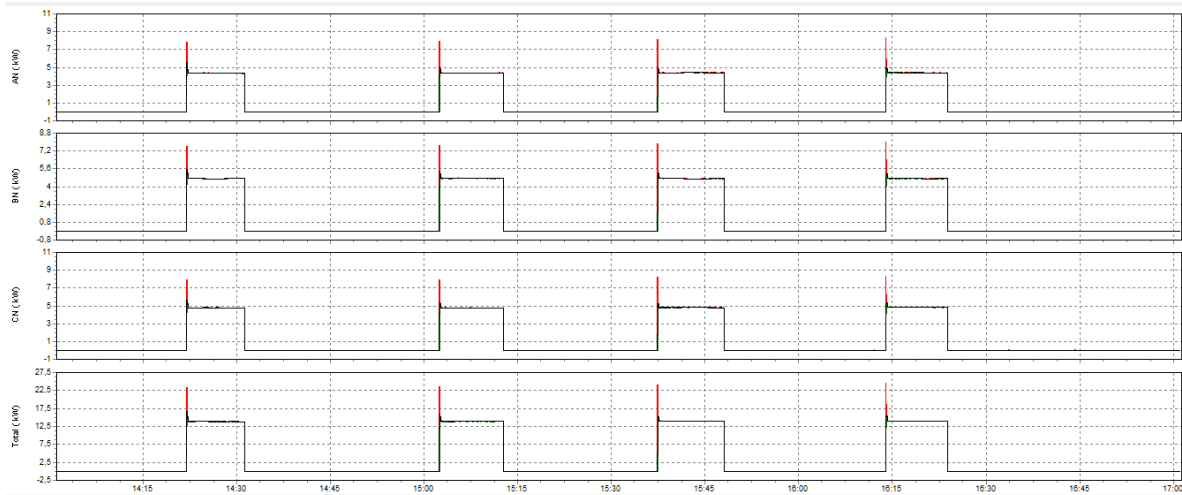


Figura 120. Potencia Activa (Torre Sur). Fuente: Elaboración propia.

- **Potencia Activa (P) (W, kW)**

Representa la energía por unidad de tiempo que el sistema es capaz de transformar en trabajo, en este caso, la de los motores, de aprovechar la energía eléctrica y convertirla en trabajo útil o de movimiento. Se calcula como:

$$P_{Activa} = U * I * \cos\varphi \quad \text{Ecuación . 1}$$

Donde:

$U = Voltaje$

$I = Corriente$

$\cos\varphi$ es el coseno del ángulo φ que forman la potencia activa P y la aparente S , (ver figura 125) de un triángulo de potencias típico.

El valor de $\cos\varphi$ se puede verificar en las figuras 121 y 122 de ambas torres.

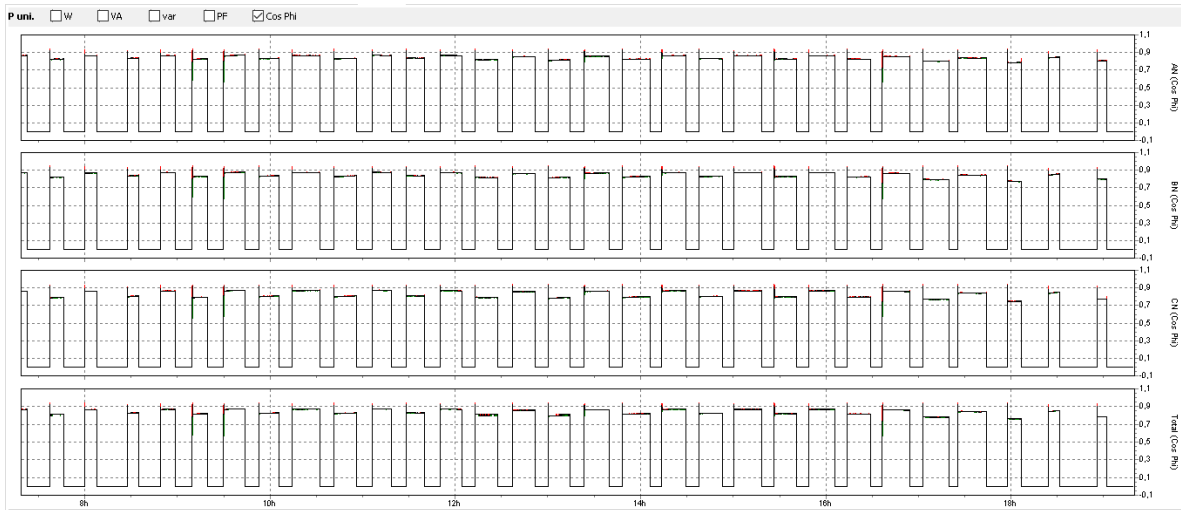


Figura 121. Valor de $\cos\varphi$ (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

$$\cos\varphi \approx 0.87$$

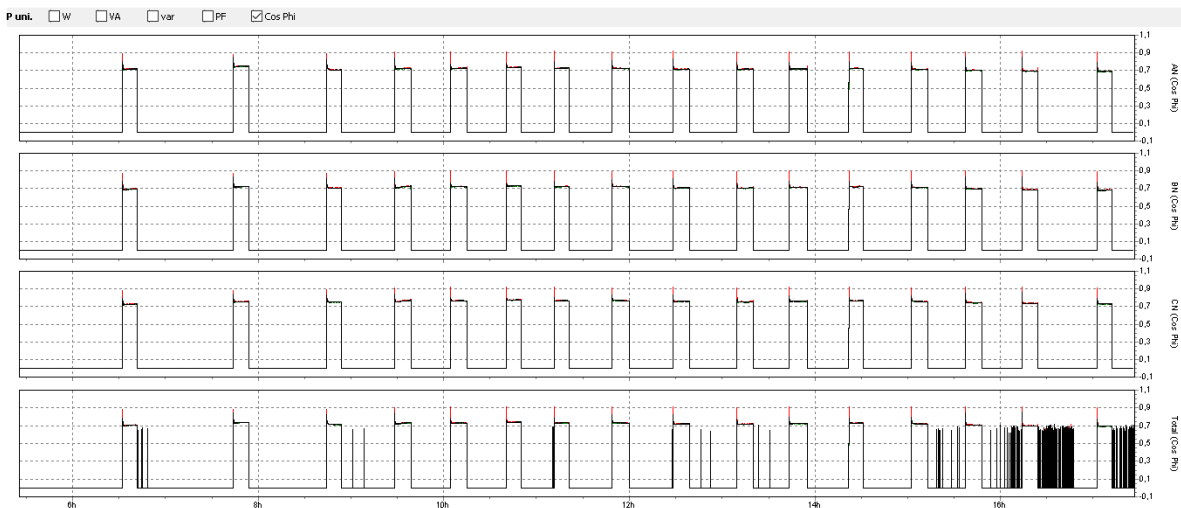


Figura 122. Valor de $\cos\varphi$ (Torre Sur). Fuente: Elaboración propia.

$$\cos\varphi \approx 0.70$$

De la *Ec. 1* se puede verificar el valor de la potencia activa para cada una de las bombas de los sótanos y recordando de la placa de características de los motores que:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$U = 440 \text{ V}; I = 20.5 \text{ A}$ para los motores de 15 hp

$U = 440 \text{ V}; I = 26.8 \text{ A}$ para los motores de 20 hp

Por tanto, la potencia activa promedio generada en cada una de las fases en los motores de torre Norte es:

$$P_{Activa} = 440 \text{ V} * 20.5 \text{ A} * 0.87$$

$P_{Activa/Torre Norte} \approx 7847.4 \text{ W}$ ó **8 kW** (Valor aproximado, ver figura 120)

$P_{Activa TOTAL/Torre Norte} \approx 24 \text{ kW}$ (Comparar valor)

Y para torre Sur:

$$P_{Activa} = 440 \text{ V} * 26.8 \text{ A} * 0.70$$

$P_{Activa/Torre Sur} \approx 8254,4 \text{ W}$ ó **8,25 kW** (Valor aproximado, ver figura 121)

$P_{Activa TOTAL/Torre Sur} \approx 24,75 \text{ kW}$ (Comparar valor)

Potencia Reactiva (Q) (kVAr)

Es la potencia requerida por las bobinas y devanados para generar campos electromagnéticos en el caso de los motores y transformadores respectivamente, sin embargo, no se transforma en trabajo útil. En la próxima sesión se verá la importancia de este valor como energía, ya que EPM mide la energía reactiva con el contador ($kVArh$) y si se sobrepasan determinados valores establecidos, se incluye un término de penalización por reactiva en la factura eléctrica.

Se calcula mediante la ecuación:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$Q = U * I * \text{sen}\varphi \quad \text{Ecuación . 2}$$

Debido a que no se conoce el valor de $\text{sen}\varphi$, se deduce el valor promedio de cada una de las fases de la Ec. 2 a partir de las gráficas correspondientes de potencia reactiva

$$Q_{\text{Reactiva/Torre Norte}} \approx 11,7 \text{ kVAr}$$

$$Q_{\text{Reactiva TOTAL/Torre Norte}} \approx 35,1 \text{ kVAr} \text{ (Comparar valor de la figura 123)}$$

$$Q_{\text{Reactiva/Torre Sur}} \approx 13,5 \text{ kVAr}$$

$$Q_{\text{Reactiva TOTAL/Torre Sur}} \approx 40,5 \text{ kVAr} \text{ (Comparar valor de la figura 124)}$$

La gráfica de potencia reactiva se presenta en las figuras 123 y 124 de ambas torres.

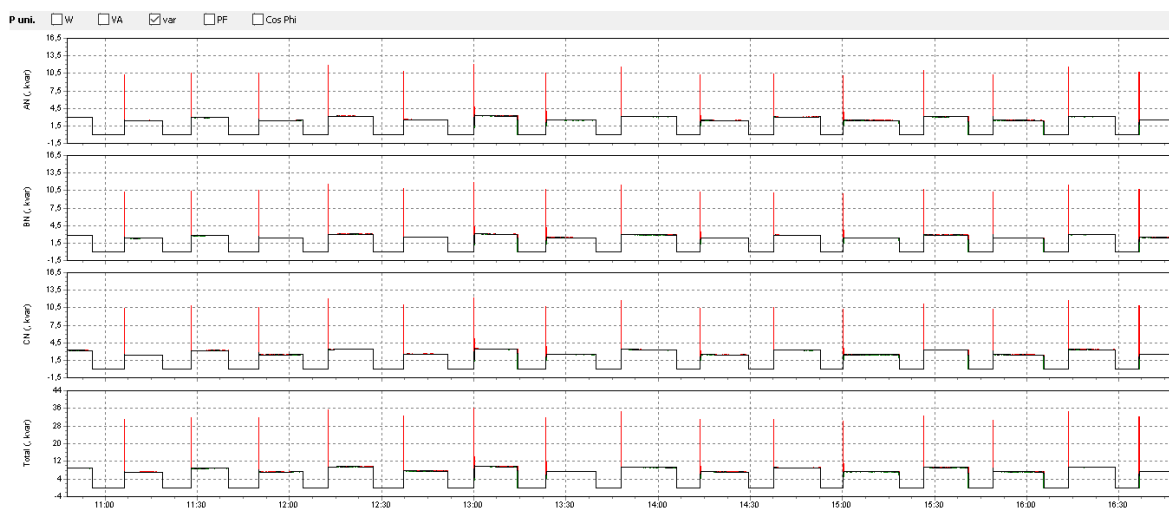


Figura 123. Potencia Reactiva (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

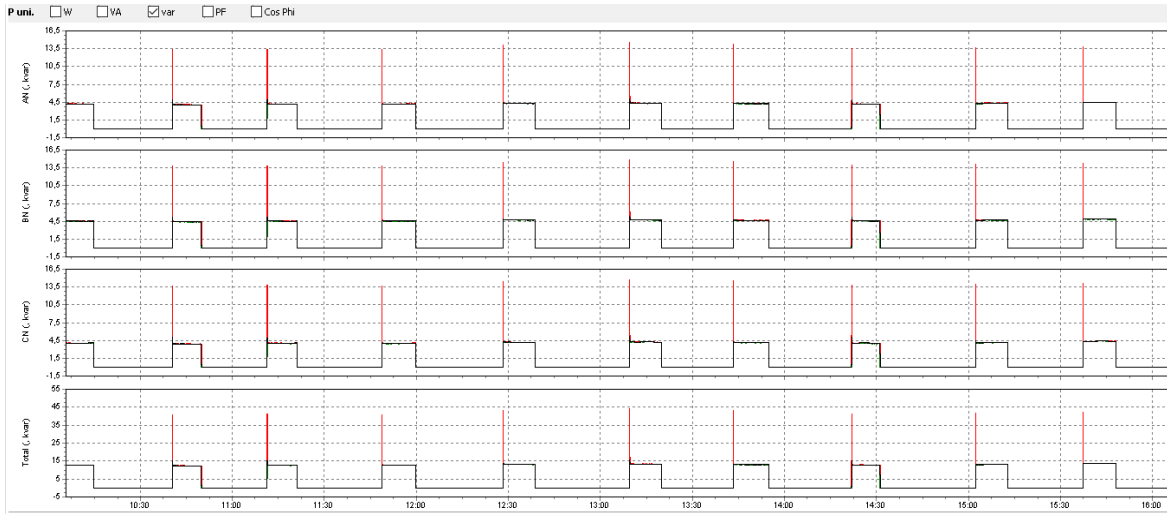


Figura 124. Potencia Reactiva (Torre Sur). Fuente: Elaboración propia.

Potencia Aparente (S) (kVA)

Representa la potencia total consumida por la carga y se calcula como el producto de los valores eficaces de tensión e intensidad.

$$S = V * I \quad \text{Ecuación 3}$$

Es la suma vectorial de las potencias activa y reactiva. En la figura 125 se muestra el triángulo de potencias para ilustrar mejor la deducción matemática de este tipo de potencia.

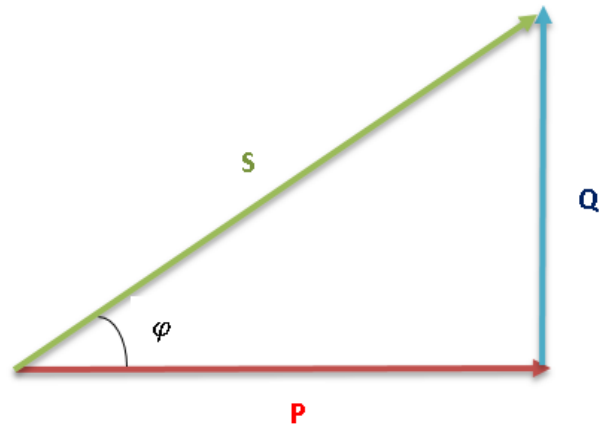


Figura 125. Triángulo de potencias. Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, la potencia aparente puede deducirse a partir del teorema de Pitágoras:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

Antes de realizar el cálculo teórico con los valores de potencia activa y reactiva obtenidas en las ecuaciones 1 y 2, se presenta a continuación en las figuras 126 y 127 los resultados de las mediciones para potencia aparente de ambas torres.



Figura 126. Potencia Aparente (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

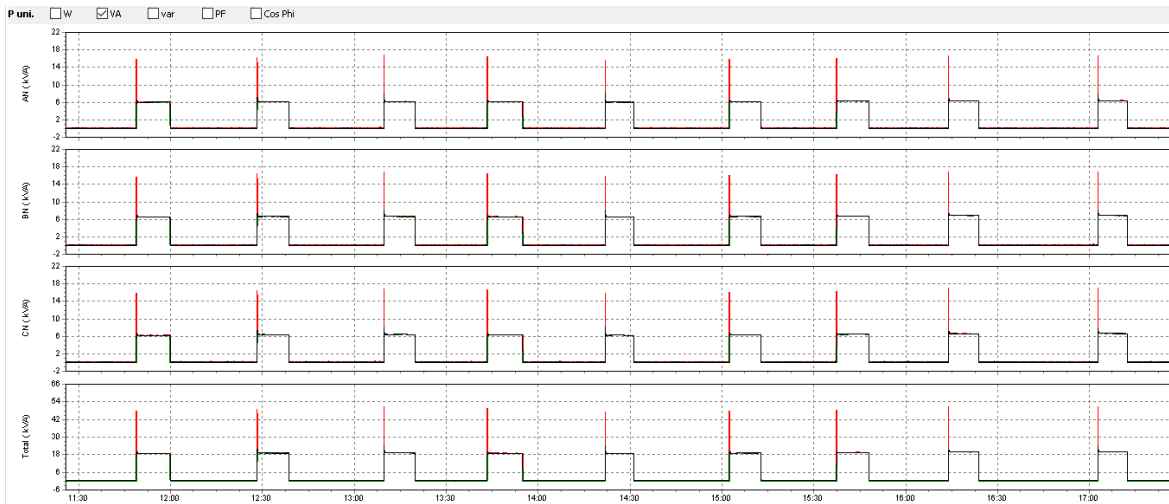


Figura 127. Potencia Aparente (Torre Sur). Fuente: Elaboración propia.

De la *Ec. 4* se deduce el cálculo teórico de la potencia aparente mostradas en las anteriores figuras, sabiendo que:

$$P_{Activa/Torre Norte} \approx 8 \text{ kW}$$

$$P_{Activa/Torre Sur} \approx 8,25 \text{ kW}$$

$$Q_{Reactiva/Torre Norte} \approx 11,7 \text{ kVAr}$$

$$Q_{Reactiva/Torre Sur} \approx 13,5 \text{ kVAr}$$

$$S_{Aparente/Torre Sur} = \sqrt{(8,25)^2 + (13,5)^2}$$

$$S_{Aparente/Torre Sur} \approx 15,82 \text{ kVA (Ver valor aproximado en la figura 127)}$$

$$S_{Aparente TOTAL/Torre Sur} \approx 47,5 \text{ kVA (Comparar valores)}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$S_{Aparente/Torre\ Norte} = \sqrt{(8)^2 + (11,7)^2}$$

$S_{Aparente/Torre\ Norte} = 14,17\ kVA$ (Ver valor aproximado en la figura 126)

$S_{Aparente\ TOTAL/Torre\ Norte} \approx 42,51\ kVA$ (Comparar valores)

Se finaliza esta sesión discutiendo sobre el *Factor de Potencia*, un parámetro fundamental que la entidad prestadora del servicio de energía toma en cuenta en la facturación de la energía eléctrica.

Se dice que un factor de potencia con un $\cos\phi$ alto, (cercano a 1), influye en que no exista penalización por energía reactiva y ayuda a disminuir la potencia total en kVA .

El factor de potencia se toma como la relación entre la potencia activa y la potencia total consumida por la carga y siempre se mide entre 0 y 1 y representa el valor desfasado en grados de la intensidad de la corriente respecto al voltaje.

En las figuras 128 y 129 se presentan los diagramas del factor de potencia de cada torre.

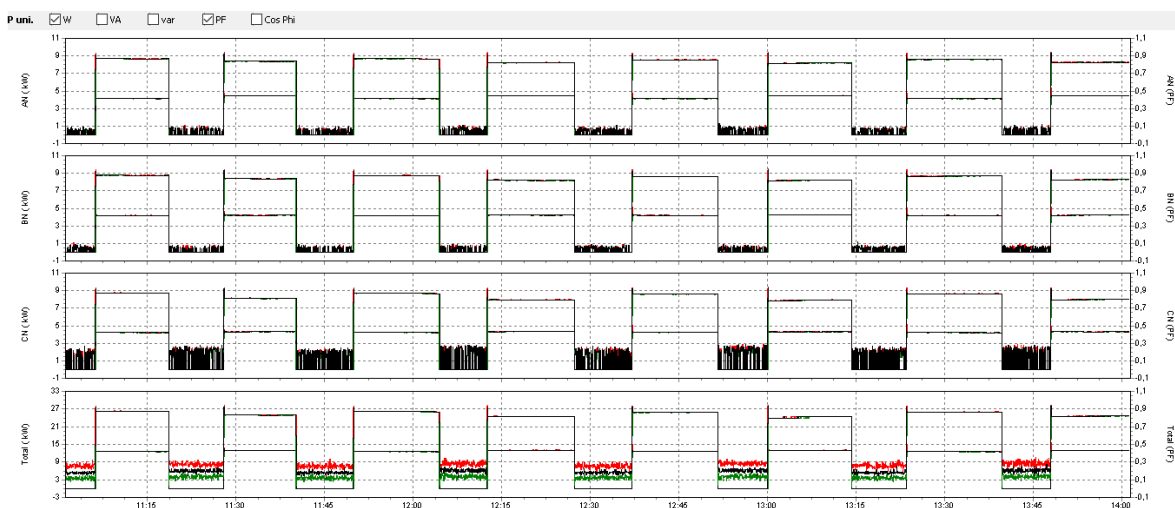


Figura 128. Factor de potencia (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

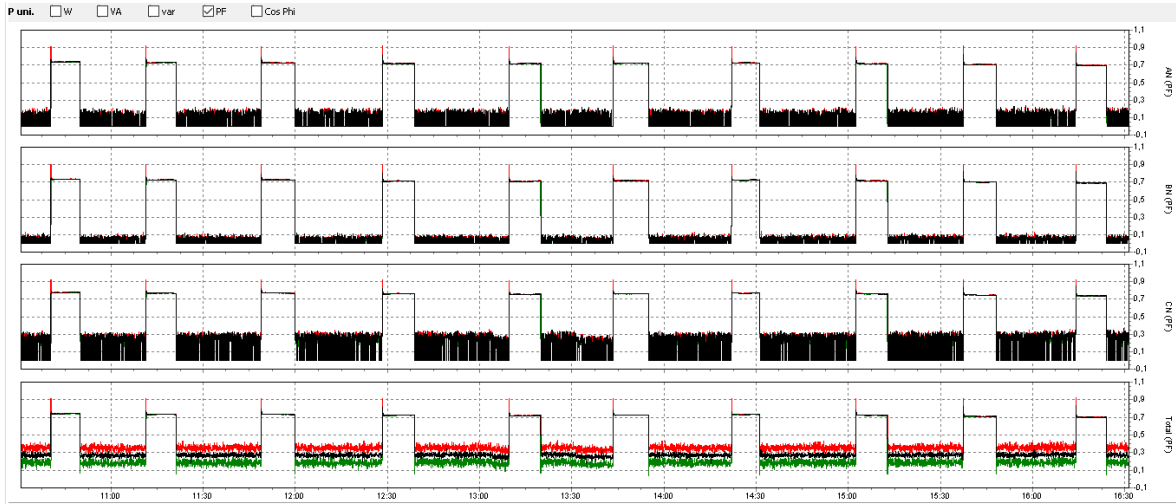


Figura 129. Factor de potencia (Torre Sur). Fuente: Elaboración propia.

Un factor de potencia alto disminuye la potencia reactiva, por esta razón se busca siempre mantener este valor cercano a 1, ya que influye en un mejor aprovechamiento de la energía y los gastos por las pérdidas de la misma son mínimas.

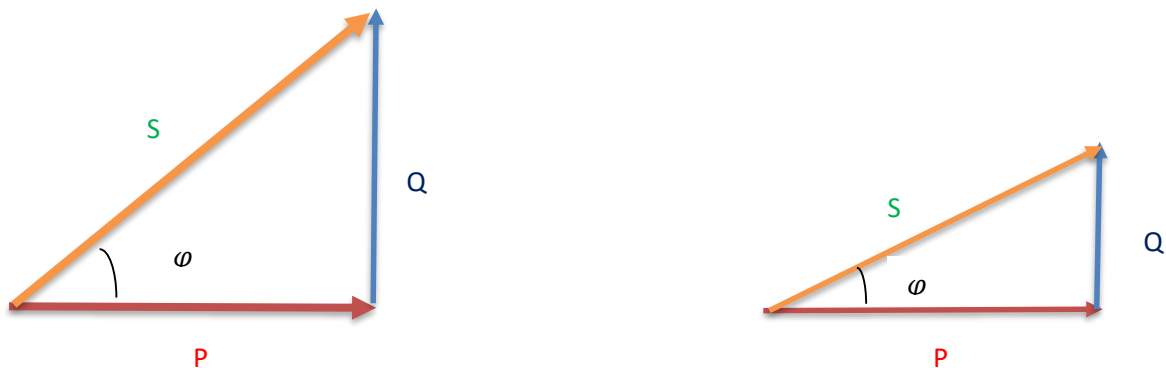


Figura 130. Factor de potencia (Izquierda: bajo; Derecha: Alto). Fuente: Elaboración propia.

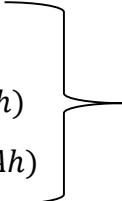
De la figura 130 se comprueba que cuanto mayor es el ángulo φ mayor será la potencia reactiva (Q) y por consiguiente el factor de potencia disminuye.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

De las figuras 128 y 129 se infiere que los factores de potencia para torre norte y sur son respectivamente 0.88 y 0.70.

5.1.1.4 Energía

Para las gráficas de energía se considera el color para cada tipo de energía:

- Energía Activa: Rojo (en kWh)
 - Energía Reactiva: Azul (en $kVARh$)
 - Energía Aparente: Verde (en $kVAh$)
- 

Para las tres fases (Superior)
 Energía total (inferior)

En la sesión anterior se discutió y analizó cada una de las potencias generadas en los motores eléctricos. En este apartado se evalúa el consumo de la energía activa, reactiva y aparente.

La potencia eléctrica es el trabajo que se necesita para realizar una actividad medida en kW , kVA y kVA , y la energía es la sumatoria de potencias en función del tiempo medida en kWh , $kVAh$ y $kVAh$.

En las figuras 131 y 132 se muestra el consumo energético durante el tiempo de cada una de las energías descritas. Se ha seleccionado el tiempo de operación desde que se conectó el analizador hasta su desconexión.

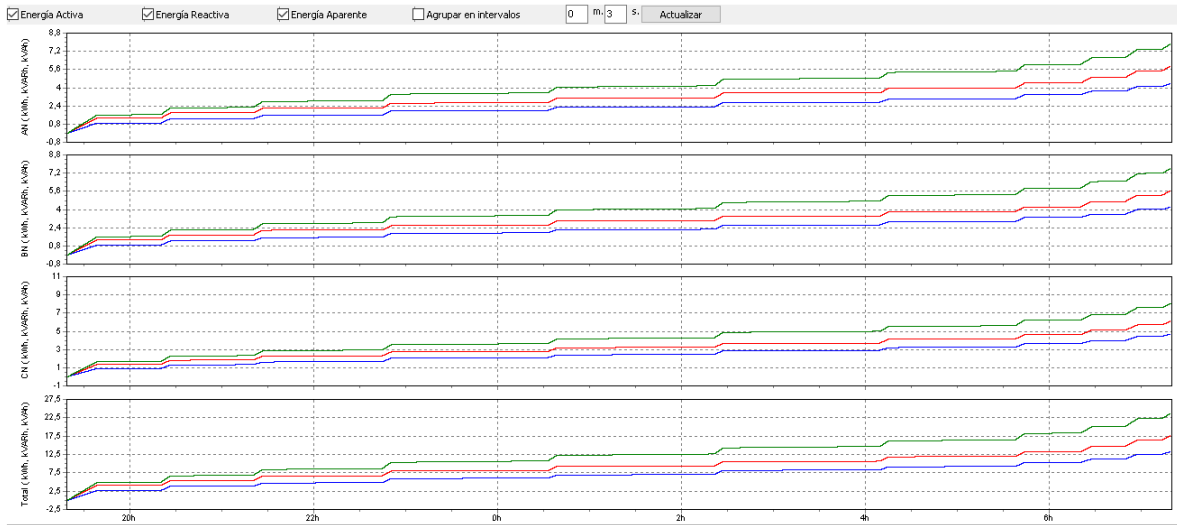


Figura 131. Consumo de Energía desde las 19:30 hasta las 7 h aprox. (Activa, Reactiva y Aparente) (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

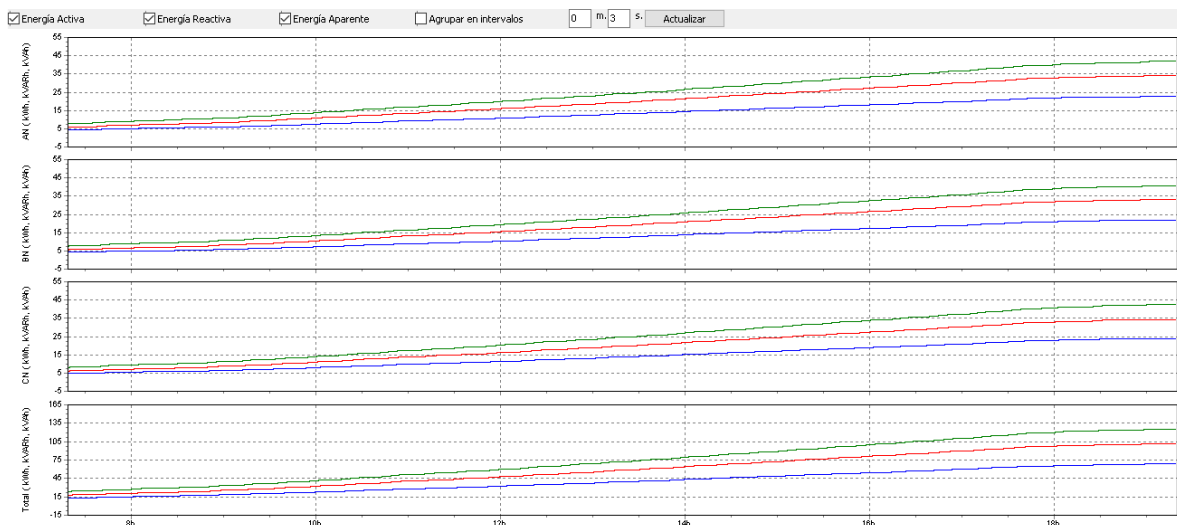


Figura 132. Consumo de Energía desde las 7 hasta las 19:30 h aprox. (Activa, Reactiva y Aparente) (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

De las figuras anteriores se describe el consumo de cada una de las energías para las tres fases, y el total consumido (inferior).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

De la figura 125 (triángulo de potencias) descrita en la sesión anterior se concluyó que la potencia aparente es la suma vectorial de las energía activa y reactiva; esto, se puede comprobar en la línea de la energía aparente (en verde), estando sus valores siempre por encima de la activa (roja) y reactiva (azul), mostrada en los consumos de las gráficas anteriores.

Implementando el variador de velocidad se puede reducir considerablemente la energía reactiva, por lo cual la línea de color azul tiende a disminuir, mientras que la verde tiende a igualarse a la roja, como sucede en una carga resistiva donde las ondas de la corriente y el voltaje no están desfasadas y por lo tanto el valor del factor de potencia es 1.

En la figura 133 correspondiente a la tabla de consumos de torre norte se ha seleccionado en rojo los valores exactos obtenidos para las energías descritas anteriormente. (comparar valores referentes a la figura 132).

Fecha	Función	CN(V) / C(A) Min	CN(V) / C(A) Med	CN(V) / C(A) Max	NG(V) / N(A) Min	NG(V) / N(A) Med	NG(V) / N(A) Max	Total Min	Total Med	Total Max
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;Energía Activa			34,42 kWh (f)						101,98 kWh (f)
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;Energía Aparente			42,56 kWh (f)						125,48 kWh (f)
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;Vrms ph-n	269,42 V (f)	269,5 V (f)	269,6 V (f)	0,2 V (f)	0,2 V (f)	0,2 V (f)			
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;Vrms ph-ph	467 V (f)	467,16 V (f)	467,36 V (f)						
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;Energía Reactiva			24,00 kWh (f)						68,83 kWh (f)
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;Frecuencia									
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;Cos Phi	0	0	0				0	0	0
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;Pérdida Total							0 W (f)	0 W (f)	20 W (f)
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;Pérdida de energía Total									3170 Wh (f)
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;THD V	2,84 % (f)	2,84 % (f)	2,85 % (f)	179,19 % (f)	179,01 % (f)	180,17 % (f)			
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;THD A	29,08 % (f)	29,77 % (f)	31,02 % (f)	4,22 % (f)	4,35 % (f)	4,56 % (f)			
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msec;THD W	0,19 % (f)	0,25 % (f)	0,29 % (f)						

Figura 133. Consumo de Energía 19:30 h aprox. (Activa, Reactiva y Aparente) (Torre Norte). Fuente: Elaboración propia.

Los valores para los consumos de energía en torre sur se anexan a continuación (figura 134) junto con los valores exactos medidos en cada una (figura 135).

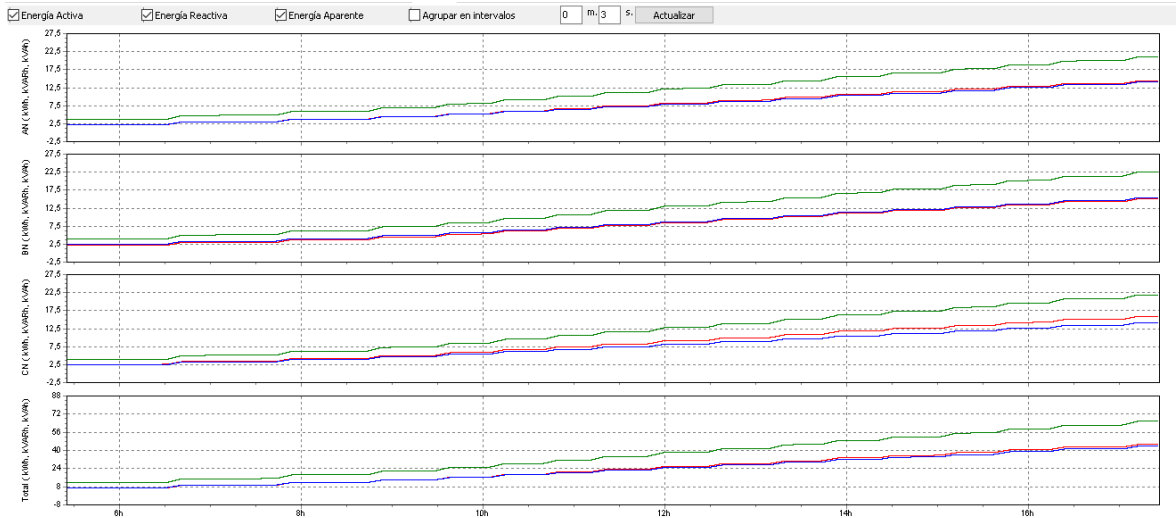


Figura 134. Consumo de Energía desde las 5:30 hasta las 17:30 h aprox. (Activa, Reactiva y Aparente) (Torre Sur). Fuente: Elaboración propia.

En la figura 134 se observa cómo la línea azul (reactiva) tiende a igualarse con la roja (activa), esto se debe al factor de potencia analizado en la sesión 5.1.1.4 (Potencia) y como se explicó, cuanto menor sea el factor de potencia, que en el caso de torre sur fue de ≈ 0.70 , la reactiva aumenta. De acuerdo al diagrama, se puede observar que dichas magnitudes se mantienen muy cercanas una de otra. (verificar valores con la figura 135).

Fecha	Función	CN(V) / C(A) Min	CN(V) / C(A) Med	CN(V) / C(A) Max	NG(V) / N(A) Min	NG(V) / N(A) Med	NG(V) / N(A) Max	Total Min	Total Med	Total Max
01/03/2016 5:26:05 p. m.	629msec; Pérdida Total							0 W (f)	20 W (f)	20 W (f)
01/03/2016 5:26:05 p. m.	629msec; Pérdida de energía Total									1551 Wh (f)
01/03/2016 5:26:05 p. m.	629msec; THD V	4,68 % (f)	4,73 % (f)	4,78 % (f)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)			
01/03/2016 5:26:05 p. m.	629msec; THD A	19,54 % (f)	20,34 % (f)	21,78 % (f)	5,58 % (f)	5,66 % (f)	5,74 % (f)			
01/03/2016 5:26:05 p. m.	629msec; THD W	0,44 % (f)	0,53 % (f)	0,57 % (f)						
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Arms	0,2 A (f)	0,5 A (f)	1 A (f)	0,9 A (f)	0,9 A (f)	1 A (f)			
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Potencia Activa	0,02 kW (f)	0,04 kW (f)	0,04 kW (f)				0,06 kW (f)	0,06 kW (f)	0,08 kW (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Potencia Aparente	0,06 kVA (f)	0,12 kVA (f)	0,28 kVA (f)				0,18 kVA (f)	0,32 kVA (f)	0,52 kVA (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Potencia Reactiva	0,04 kvar	0,04 kvar	0,04 kvar				0,08 kvar	0,1 kvar	0,1 kvar
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Factor de Potencia	0,16	0,23	0,32				0,15	0,24	0,24
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Energía Activa			15,86 kWh (f)						45,23 kWh (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Energía Aparente			21,90 kWh (f)						65,70 kWh (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Vrms ph-n	275,26 V (f)	275,28 V (f)	275,36 V (f)	0,3 V (f)	0,32 V (f)	0,32 V (f)			
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Vrms ph-ph	475,68 V (f)	475,76 V (f)	475,88 V (f)						
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Energía Reactiva			14,17 kWh (f)						43,59 kWh (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Frecuencia							0	0	0
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Cos Phi	0	0	0				0 W (f)	20 W (f)	20 W (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Pérdida Total									20 W (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; Pérdida de energía Total									1551 Wh (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; THD V	4,64 % (f)	4,66 % (f)	4,67 % (f)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)			
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; THD A	20,53 % (f)	21,56 % (f)	23,04 % (f)	5,57 % (f)	5,76 % (f)	5,9 % (f)			
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msec; THD W	0,46 % (f)	0,57 % (f)	0,62 % (f)						

Figura 135. Consumo de Energía 17:30 h aprox. (Activa, Reactiva y Aparente) (Torre Sur).

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.5 Pérdidas de Energía

Las pérdidas de energía hacen referencia a aquellas que se pierden en forma de calor debido a varios factores, como el recalentamiento en las bobinas de los motores por inducción electromagnética; el efecto joule producido por la energía cinética de los electrones que se transforma en calor debido a los choques con las paredes internas del material conductor por el que circulan; pérdidas en el hierro o en el núcleo; rozamientos en los cojinetes de apoyo del rotor, entre otros.

Los siguientes gráficos corresponden a las pérdidas de energía (*kWh*) para cada una de las torres. Se presenta primero las pérdidas producidas entre las 8:00 pm y 7:20 am aprox; luego entre las 8:00 am y 7:20 pm aprox.

TORRE NORTE

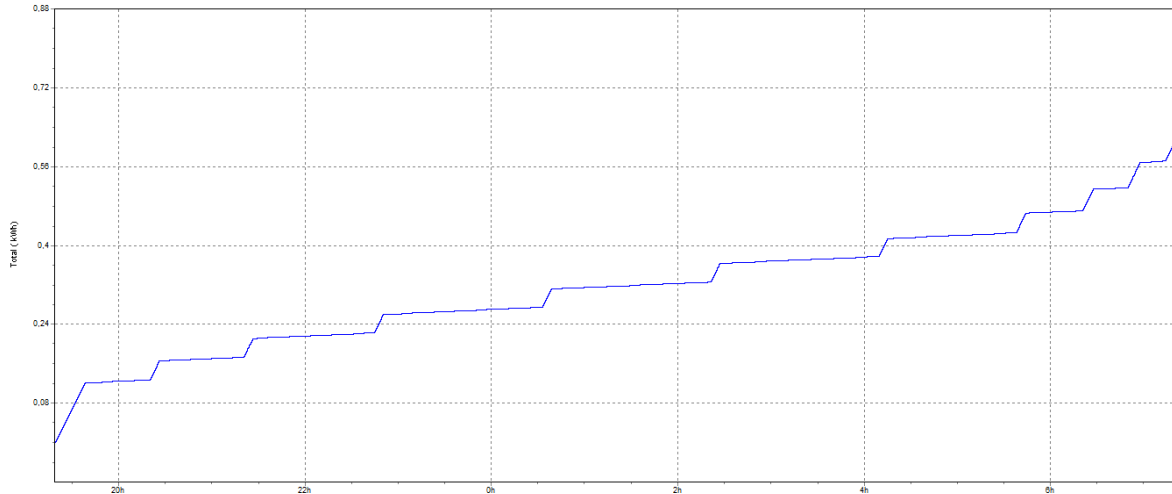


Figura 136. Pérdida de energía (Torre Norte). De 8:00 pm a 7:20 am aprox. Fuente:

Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

De las figuras 136 y 138 se observa que la pérdida de energía es ascendente, comenzando desde un valor mínimo que corresponde al momento en que se comenzó a analizar el consumo con el analizador de redes.

En la figura 137 que corresponden a las mediciones de cada uno de los parámetros configurados en el analizador se puede comparar el valor de la pérdida de energía total (*Wh*) mostrado en la gráfica anterior.

Fecha	Función	CN(V) / C(A) Min	CN(V) / C(A) Med	CN(V) / C(A) Max	NG(V) / N(A) Min	NG(V) / N(A) Med	NG(V) / N(A) Max	Total Min	Total Med	Total Max
02/03/2016 7:18:23 a. m.	532msec/Frecuencia									
02/03/2016 7:18:23 a. m.	532msec/Cos Phi	0,86	0,86	0,86				0,86	0,86	0,86
02/03/2016 7:18:23 a. m.	532msec/Pérdida Total							380 W (f)	380 W (f)	380 W (f)
02/03/2016 7:18:23 a. m.	532msec/Pérdida de energía Total									599 Wh (f)
02/03/2016 7:18:23 a. m.	532msec/THD V	4,4 % (f)	4,41 % (f)	4,44 % (f)	175,7 % (f)	176,66 % (f)	177,99 % (f)			
02/03/2016 7:18:23 a. m.	532msec/THD A	8,9 % (f)	8,93 % (f)	8,97 % (f)	5,48 % (f)	5,72 % (f)	6,13 % (f)			
02/03/2016 7:18:23 a. m.	532msec/THD W	0,09 % (f)	0,1 % (f)	0,1 % (f)						
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Arms	18,8 A (f)	18,8 A (f)	18,8 A (f)	0,7 A (f)	0,7 A (f)	0,8 A (f)			
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Potencia Activa	4,26 kW (f)	4,28 kW (f)	4,28 kW (f)				12,6 kW (f)	12,62 kW (f)	12,64 kW (f)
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Potencia Aparente	4,96 kVA (f)	4,96 kVA (f)	4,98 kVA (f)				14,58 kVA (f)	14,6 kVA (f)	14,64 kVA (f)
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Potencia Reactiva	2,54 kvar	2,54 kvar	2,56 kvar				7,34 kvar	7,36 kvar	7,42 kvar
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Factor de Potencia	0,86	0,86	0,86				0,86	0,86	0,86
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Energía Activa			6,04 kWh (f)						17,45 kWh (f)
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Energía Aparente			8,01 kWh (f)						23,46 kWh (f)
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Vrms ph-n	263,94 V (f)	264 V (f)	264,14 V (f)	0,2 V (f)	0,2 V (f)	0,22 V (f)			
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Vrms ph-ph	457,16 V (f)	457,28 V (f)	457,52 V (f)						
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Energía Reactiva			-4,65 kVARh (f)						13,16 kVARh (f)
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Frecuencia									
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Cos Phi	0,86	0,86	0,86				0,86	0,86	0,86
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/Pérdida de energía Total							380 W (f)	380 W (f)	600 Wh (f)
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/THD V	4,45 % (f)	4,49 % (f)	4,53 % (f)	178,41 % (f)	183,02 % (f)	185,43 % (f)			
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/THD A	8,99 % (f)	9,08 % (f)	9,15 % (f)	5,46 % (f)	5,7 % (f)	5,98 % (f)			
02/03/2016 7:18:26 a. m.	532msec/THD W	0,1 % (f)	0,1 % (f)	0,1 % (f)						
02/03/2016 7:18:29 a. m.	532msec/Arms	18,8 A (f)	18,8 A (f)	18,8 A (f)	0,7 A (f)	0,7 A (f)	0,9 A (f)			
02/03/2016 7:18:29 a. m.	532msec/Potencia Activa	4,26 kW (f)	4,26 kW (f)	4,28 kW (f)				12,58 kW (f)	12,62 kW (f)	12,64 kW (f)
02/03/2016 7:18:29 a. m.	532msec/Potencia Aparente	4,96 kVA (f)	4,96 kVA (f)	4,98 kVA (f)				14,58 kVA (f)	14,62 kVA (f)	14,64 kVA (f)
02/03/2016 7:18:29 a. m.	532msec/Potencia Reactiva	2,54 kvar	2,54 kvar	2,56 kvar				7,36 kvar	7,38 kvar	7,4 kvar
02/03/2016 7:18:29 a. m.	532msec/Factor de Potencia	0,86	0,86	0,86				0,86	0,86	0,86
02/03/2016 7:18:29 a. m.	532msec/Energía Activa			6,04 kWh (f)						17,46 kWh (f)
02/03/2016 7:18:29 a. m.	532msec/Energía Aparente			8,01 kWh (f)						23,48 kWh (f)

Figura 137. Pérdida de energía (Torre Norte). De 8:00 pm a 7:20 am aprox. Fuente:

Elaboración propia.

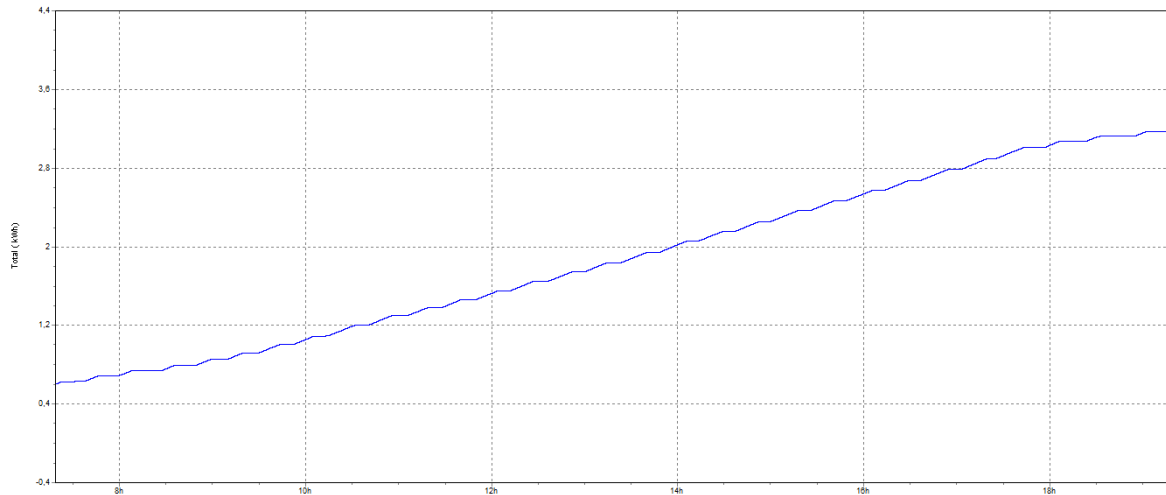


Figura 138. Pérdida de energía (Torre Norte). De 8:00 am a 7:20 pm aprox. Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Función	CN(V) / C(A) Min	CN(V) / C(A) Med	CN(V) / C(A) Max	NG(V) / N(A) Min	NG(V) / N(A) Med	NG(V) / N(A) Max	Total Min	Total Med	Total Max
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecEnergía Activa			34,42 kWh (f)						101,98 kWh (f)
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecEnergía Aparente			42,56 kWh (f)						125,48 kWh (f)
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecVrms pH-n	269,42 V (f)	269,5 V (f)	269,6 V (f)	0,2 V (f)	0,2 V (f)	0,2 V (f)			
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecVrms pH-ph	467 V (f)	467,16 V (f)	467,36 V (f)						
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecEnergía Reactiva			24,00 kWh (f)						68,83 kWh (f)
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecFrecuencia									
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecCos Phi	0	0	0				0	0	0
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecPérdida de energía Total							0 W (f)	0 W (f)	3170 Wh (f)
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecTHD V	2,84 % (f)	2,84 % (f)	2,85 % (f)	179,19 % (f)	179,81 % (f)	180,17 % (f)			
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecTHD A	29,08 % (f)	29,77 % (f)	31,02 % (f)	4,22 % (f)	4,35 % (f)	4,56 % (f)			
02/03/2016 7:19:17 p. m.	532msecTHD W	0,19 % (f)	0,25 % (f)	0,29 % (f)						

Figura 139. Pérdida de energía (Torre Norte). De 8:00 am a 7:20 pm aprox. Fuente: Elaboración propia.

- COSTOS GENERADOS EN TORRE NORTE**

Con el valor unitario facturado al edificio de Bancolombia (\$ 307) es posible calcular el valor en pesos por concepto de pérdidas de energía.

Costo total generado de 8:00 pm a 7:20 pm (Ver figura 139)

$$3.17 \text{ kWh} * 365 \text{ días} = 1157.05 \text{ kWh}$$

$$1157.05 \text{ kWh} * \$ 307 = \$ 355.214,35$$

TORRE SUR

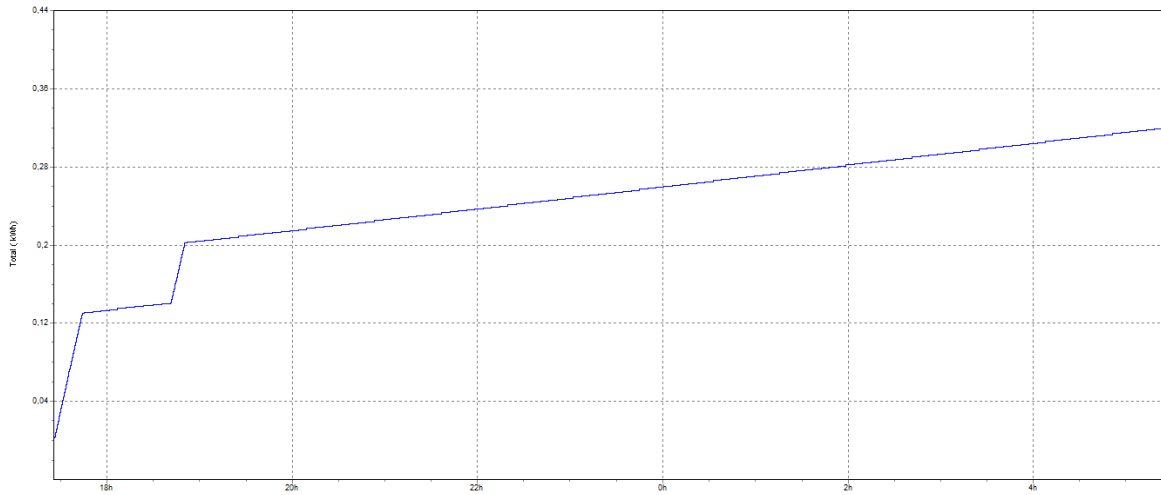


Figura 140. Pérdida de energía (Torre Sur). De 6:00 pm a 5:30 am aprox. Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Función	CN(V) / C(A) Min	CN(V) / C(A) Med	CN(V) / C(A) Max	NG(V) / N(A) Min	NG(V) / N(A) Med	NG(V) / N(A) Max	Total Min	Total Med	Total Max
01/03/2016 5:26:08 a. m.	629msec Cos Phi	0	0	0				0	0	0
01/03/2016 5:26:08 a. m.	629msec Pérdida Total							0 W (f)	20 W (f)	20 W (f)
01/03/2016 5:26:08 a. m.	629msec Pérdida de energía Total									320 Wh (f)
01/03/2016 5:26:08 a. m.	629msec THD V	2,31 % (f)	2,33 % (f)	2,33 % (f)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)			
01/03/2016 5:26:08 a. m.	629msec THD A	20,77 % (f)	21,11 % (f)	21,49 % (f)	3,69 % (f)	3,78 % (f)	3,92 % (f)			
01/03/2016 5:26:08 a. m.	629msec THD W	0,25 % (f)	0,27 % (f)	0,3 % (f)						
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Arms	0,2 A (f)	0,3 A (f)	0,5 A (f)	0,9 A (f)	0,9 A (f)	0,9 A (f)			
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Potencia Activa	0,02 kW (f)	0,04 kW (f)	0,04 kW (f)				0,04 kW (f)	0,06 kW (f)	0,08 kW (f)
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Potencia Aparente	0,06 kVA (f)	0,08 kVA (f)	0,14 kVA (f)				0,16 kVA (f)	0,24 kVA (f)	0,38 kVA (f)
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Potencia Reactiva	0,04 kvar	0,04 kvar	0,04 kvar				0,08 kvar	0,08 kvar	0,08 kvar
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Factor de Potencia	0,21	0,21	0,28				0,16	0,25	0,31
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Energía Activa			2,55 kWh (f)						7,00 kWh (f)
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Energía Aparente			3,90 kVAh (f)						11,64 kVAh (f)
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Vrms ph-n	273,54 V (f)	273,6 V (f)	273,66 V (f)	0,3 V (f)	0,3 V (f)	0,3 V (f)			
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Vrms ph-ph	472,76 V (f)	472,84 V (f)	472,94 V (f)						
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Energía Reactiva			2,46 kVARh (f)						7,21 kVARh (f)
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Frecuencia									
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Cos Phi	0	0	0				0	0	0
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Pérdida Total							0 W (f)	20 W (f)	20 W (f)
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec Pérdida de energía Total									320 Wh (f)
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec THD V	2,34 % (f)	2,34 % (f)	2,35 % (f)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)			
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec THD A	20,76 % (f)	22,05 % (f)	23,06 % (f)	3,71 % (f)	3,91 % (f)	4,08 % (f)			
01/03/2016 5:26:11 a. m.	629msec THD W	0,25 % (f)	0,29 % (f)	0,32 % (f)						
01/03/2016 5:26:14 a. m.	629msec Arms	0,2 A (f)	0,3 A (f)	0,4 A (f)	0,9 A (f)	0,9 A (f)	1 A (f)			
01/03/2016 5:26:14 a. m.	629msec Potencia Activa	0,02 kW (f)	0,02 kW (f)	0,04 kW (f)				0,06 kW (f)	0,06 kW (f)	0,06 kW (f)
01/03/2016 5:26:14 a. m.	629msec Potencia Aparente	0,04 kVA (f)	0,06 kVA (f)	0,12 kVA (f)				0,16 kVA (f)	0,22 kVA (f)	0,32 kVA (f)
01/03/2016 5:26:14 a. m.	629msec Potencia Reactiva	0,04 kvar	0,04 kvar	0,04 kvar				0,08 kvar	0,08 kvar	0,1 kvar
01/03/2016 5:26:14 a. m.	629msec Factor de Potencia	0	0	0				0,19	0,27	0,35
01/03/2016 5:26:14 a. m.	629msec Energía Activa			2,55 kWh (f)						7,00 kWh (f)
01/03/2016 5:26:14 a. m.	629msec Energía Aparente			3,90 kVAh (f)						11,64 kVAh (f)
01/03/2016 5:26:14 a. m.	629msec Vrms ph-n	273,54 V (f)	273,68 V (f)	273,82 V (f)	0,3 V (f)	0,3 V (f)	0,3 V (f)			

Figura 141. Pérdida de energía (Torre Sur). De 5:30 pm aprox. a 5:30 am aprox. Fuente: Elaboración propia.

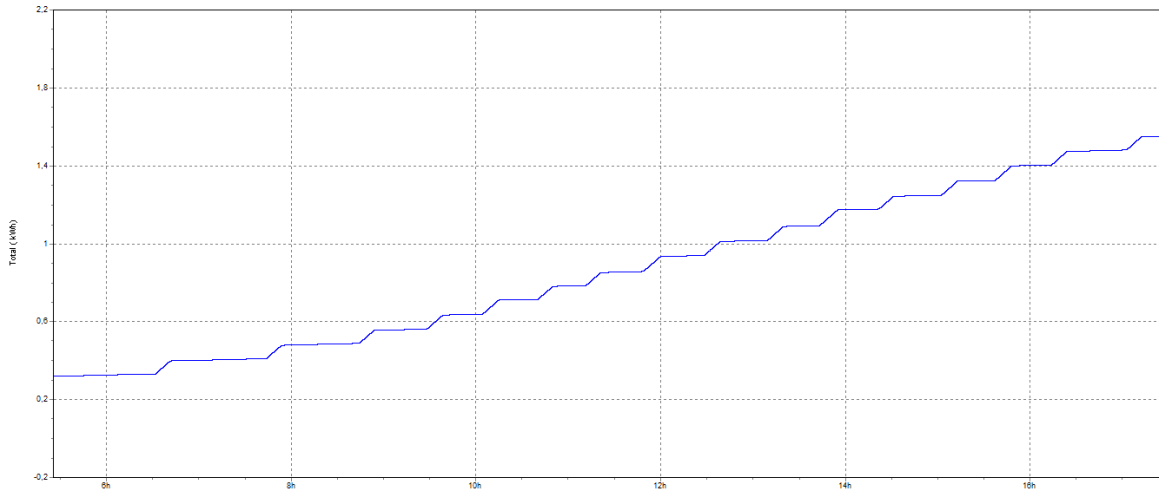


Figura 142. Pérdida de energía (Torre Sur). De 5:30 am aprox. a 5:30 pm aprox. Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Función	CN(V) / C(A) Min	CN(V) / C(A) Med	CN(V) / C(A) Max	NG(V) / N(A) Min	NG(V) / N(A) Med	NG(V) / N(A) Max	Total Min	Total Med	Total Max
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecEnergía Activa			15,86 kWh (f)						45,23 kWh (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecEnergía Aparente			21,90 kWh (f)						65,70 kWh (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecVrms ph-n	275,26 V (f)	275,28 V (f)	275,36 V (f)	0,3 V (f)	0,32 V (f)	0,32 V (f)			
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecVrms ph-ph	475,68 V (f)	475,76 V (f)	475,88 V (f)						
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecEnergía Reactiva			14,17 kVARh (f)						43,59 kVARh (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecFrecuencia									
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecCos Phi	0	0	0				0 W (f)	0 W (f)	0 W (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecPérdida de energía Total									1551 Wh (f)
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecTHD V	4,64 % (f)	4,66 % (f)	4,67 % (f)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)	327,67 % (f,OL)			
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecTHD A	20,53 % (f)	21,56 % (f)	23,04 % (f)	5,57 % (f)	5,76 % (f)	5,9 % (f)			
01/03/2016 5:26:08 p. m.	629msecTHD W	0,46 % (f)	0,57 % (f)	0,62 % (f)						

Figura 143. Pérdida de energía (Torre Sur). De 5:30 am aprox. a 5:30 pm aprox. Fuente: Elaboración propia.

- COSTOS GENERADOS EN TORRE SUR**

Con el valor unitario facturado al edificio de Bancolombia (\$ 307) es posible calcular el valor en pesos por concepto de pérdidas de energía.

Costo total generado de 5:30 am a 5:30 pm (Ver figura 143)

$$1.551 \text{ kWh} * 365 \text{ días} = 566.115 \text{ kWh}$$

$$566.115 \text{ kWh} * \$ 307 = \$ 173.797,305$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **COSTO TOTAL POR PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN BOMBAS CENTRÍFUGAS (En un año)**

Pérdidas Torre Norte + Pérdidas Torre Sur

\$ 355.214,35 + \$ 173.797,305 = \$ **529.011,66**

5.1.2 Soluciones y ahorro de energía con el variador de velocidad

En el capítulo 3 (Auditoría energética) se llegó al cálculo del consumo mensual para las bombas centrífugas y se estimó el valor en \$1'213.304,82 para ambas torres (ver sesión 3.4.4.1), esto al año representa un valor de \$14'559.657,84. Los costos efectuados en la sesión 5.1.1.5 (Gastos de Energía) va incluido dentro de este valor, y dicho cálculo se realizó con el fin de conocer la magnitud de la energía perdida durante la operación de las bombas centrífugas, una variable que si bien puede ser despreciable durante un día normal de trabajo, puede llegar a representar un buen gasto durante el año.

En el capítulo 3 (Metodología) se ha propuesto dentro del programa de ahorro energético el uso del variador de frecuencia MICROMASTER 440 inicialmente como dispositivo de arranque de los motores trifásicos y más adelante como equipo integral del programa de automatización (PLC + Variador). El objetivo de esta propuesta se centra por tanto en dos aspectos fundamentales dentro del modo de operación de las bombas centrífugas:

- Reducir los costos generados por el sistema de arranque Estrella-Delta.
- Mejorar el factor de potencia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Atenuar el funcionamiento a plena carga de los motores trifásico variando la frecuencia para diferentes condiciones de operación.

Además, con el variador de velocidad se mejora considerablemente los procesos debido a que permite que los motores operen a diferentes velocidades, y eso se traducen en:

- Menor mantenimiento
- Mayor productividad
- Mayor flexibilidad en el control
- **Ahorro de energía**

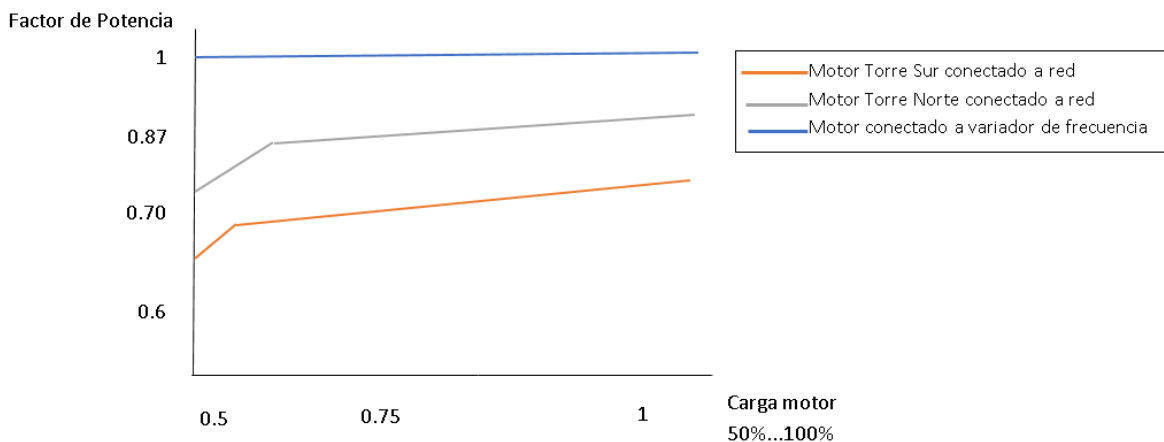


Figura 144. Factor de Potencia en función de la Carga. Fuente: Elaboración propia.

Con el uso del variador o convertidor es posible realizar cálculos de ahorro energético para las bombas centrífugas en base a las leyes de proporcionalidad (también conocidas como leyes de ventiladores) ya que bombas y ventiladores siguen las leyes de proporcionalidad que les son propias, ofreciendo un ahorro significativo de energía respecto a otros sistemas alternativos. Igualmente, otorgan una manera eficiente de controlar el flujo de agua o aire.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Si se reduce por ejemplo un 20% la velocidad del motor respecto a la velocidad nominal, el flujo de agua también se reducirá en un 20%, debido a que es directamente proporcional a la velocidad. Sin embargo, el consumo eléctrico puede reducirse hasta en un 50%.

Las leyes de proporcionalidad se describen a continuación:

- El volumen de flujo es proporcional a la velocidad:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{S_1}{S_2} \quad \text{Ecuación 5}$$

- La presión es proporcional al cuadrado de la velocidad:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2 \quad \text{Ecuación 6}$$

- La potencia es proporcional al cubo de la velocidad:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^3 \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

S_1 = velocidad inicial del sistema

S_2 = velocidad final del sistema

Q_1 = volumen de flujo inicial

Q_2 = volumen de flujo final

H_1 = presión inicial

H_2 = presión final

P_1 = Potencia inicial requerida del sistema

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$P_2 = \text{Potencia final requerida del sistema}$

Empleando la tercera ley se procede a calcular de acuerdo a las condiciones de operación de los motores trifásicos:

- Motores de 15 hp a 3500 rpm
- Motores de 20 hp a 3500 rpm

En el capítulo 4 (Metodología) se propuso dentro del diseño de ahorro energético la opción de automatizar el funcionamiento de las bombas variando la frecuencia de acuerdo a las condiciones descritas.

60 Hz 3500 rpm

40 Hz x

$$x = \frac{40 \text{ Hz} * 3500 \text{ rpm}}{60} = 2333.33 \text{ rpm}$$

Tabla 26

Velocidad del motor para cada frecuencia

Frecuencia (Hz)	Velocidad (rpm)	%
60	3500	100
40	2333.33	66.67
30	1750	50
20	1166.67	33.33
10	583.33	16.67

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Motores de 15 hp

$$15 \text{ hp} = 11.2 \text{ kW}$$

De la Ec. 7:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^3$$

Con una reducción del 20% de la velocidad

$$P_1 = 11.2 \text{ kW}$$

$$P_2 = x$$

$$S_1 = 3500 \text{ rpm}$$

$$S_2 = 2800 \text{ rpm}$$

La potencia final requerida por el sistema será:

$$P_2 = \frac{P_1}{\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^3}$$

$$P_2 = \frac{11.2 \text{ kW}}{\left(\frac{3500 \text{ rpm}}{2800 \text{ rpm}}\right)^3} = 5.73 \text{ kW}$$

Como se ha indicado, con una reducción del 20% de la velocidad se está reduciendo un porcentaje igual en el caudal, sin embargo, el ahorro del consumo eléctrico equivale aproximadamente al 50%

Con una reducción del 66. 67% de la velocidad

$$P_1 = 11.2 \text{ kW}$$

$$P_2 = x$$

$$S_1 = 3500 \text{ rpm}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$S_2 = 2333.33 \text{ rpm}$$

La potencia final requerida por el sistema será:

$$P_2 = \frac{P_1}{\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^3}$$

$$P_2 = \frac{11.2 \text{ kW}}{\left(\frac{3500 \text{ rpm}}{2333.33 \text{ rpm}}\right)^3} = 3.32 \text{ kW} \text{ (Reduciendo el 66.67\% de la velocidad se debe reducir}$$

igualmente el mismo porcentaje de caudal, sin embargo, para el consumo de energía se estaría ahorrando aproximadamente el 30%).

Motores de 20 hp

$$20 \text{ hp} = 15 \text{ kW}$$

Con una reducción del 33.33% de la velocidad

$$P_1 = 15 \text{ kW}$$

$$P_2 = x$$

$$S_1 = 3500 \text{ rpm}$$

$$S_2 = 1166.67 \text{ rpm}$$

La potencia final requerida por el sistema será:

$$P_2 = \frac{P_1}{\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^3}$$

$$P_2 = \frac{15 \text{ kW}}{\left(\frac{3500 \text{ rpm}}{1166.67 \text{ rpm}}\right)^3} = 0.55 \text{ kW}$$

Por lo tanto, si se reduce la velocidad determinado porcentaje con respecto a la velocidad nominal del motor, el consumo eléctrico también disminuirá. Variando la velocidad del motor trifásico por medio el convertidor se modifica la curva de la bomba. Logrando variar la velocidad, se obtienen cambios en el consumo de la energía. Es importante tener presente que el ahorro de la energía dependerá de la cantidad de tiempo que la bomba se

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

hace funcionar en cada punto de velocidad reducida, y esta es una variable impredecible debido a que no se tiene conocimiento del nivel de los tanques de recepción en el edificio.

Con el objetivo de obtener una aproximación en el costo del ahorro energético de las bombas, se considerará que el sistema se encuentra trabajando a una frecuencia fija reducida al 20% del valor de la velocidad, debido a la dificultad que se tiene con estimar los tiempos exactos de operación de las bombas a determinada frecuencia, además de otras variables como el ambiente, ya que en verano los Chiller demandan más.

Costo mensual actual = \$1'213.304,82

Ahorro del 50% con una reducción de velocidad del 20% =

$$\$1'213.304,82 * 50\% = \$606.652,41$$

Costo anual actual = \$14'559.657,84

Costo anual con reducción = \$7'279.828,92

5.2 Ahorro en Bombas y Máquinas dispensadoras de café y agua

Para las máquinas dispensadoras de café y agua, vimos en el capítulo 3 el gasto innecesario de energía eléctrica, el cual se puede reducir fijando horarios en horas y días no laborales, tal como se había descrito en el capítulo 4.

El consumo total fue de 1803.5 kW/h equivalente a \$2'286.838 en un mes y anual de \$27'442.056

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Basándonos en las mediciones de energía que figuran en las tablas 11, 12, 13 y 14 del capítulo 3, proponemos implementar lo siguiente:

- Las máquinas dispensadoras de café y agua las fijaremos en un horario de 6 a 18 horas, de lunes a viernes, horario en el cual los funcionarios del banco están laborando.
- De las 18 a las 6 horas, de lunes a viernes, apagaremos los circuitos debido a que no hay personal laborando en ese horario, al igual que de viernes a las 18 hasta el lunes a las 6. La programación la dejaremos fijada indefinidamente y la controlaremos en el PowerLink por temporización como ya se explicó.
 - De lo anterior podemos decir que se reducirá el consumo en 627 kW/h y se ahorrará \$ 795.036 en un mes.
- El costo total será de \$ 1'491.802 mensual y anual de \$17'901.624

Costo anual actual en dos áreas = (Máquinas) \$27'442.056 + (Bombas) \$14'559.657,84 =
\$42'001.713,84

Costo anual con reducción en ambas áreas = \$7'279.828,92 + 17'901.624 =
\$25'181.452,92

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

6. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- El proyecto se orienta en desarrollar una serie de actividades de ahorro energético para las zonas descritas en el edificio Bancolombia Dirección General, y en base a los estudios realizados sobre las condiciones actuales de funcionamiento de los equipos, se propone un plan cuyo objetivo sea lograr un uso más eficiente de la energía, sin embargo, la dificultad de alcanzar una conclusión más categórica, estriba en la necesidad de probar el porcentaje exacto de ahorro conseguido para las bombas y máquinas dispensadoras, esto, debido en gran medida a la falta de datos reales derivados de unas nuevas y casi obligatorias mediciones de consumo y calidad de la energía eléctrica de los equipos una vez fueran intervenidos. Todo lo que se ha deducido ha sido en base a los pilares teóricos del funcionamiento de cada uno de los dispositivos estudiados y de sus frutos obtenidos en la industria; de principios de ahorro de energía como la ley de proporcionalidad de bombas y ventiladores, así como de análisis comparativos de entre el uso de un método y otro. Es evidente además que los dos planes de ahorro energético son excelentes, puesto que se logra reducir costos energéticos y se consigue mantener a Bancolombia como un edificio preocupado por el ambiente, justificado en la certificación Leed Gold que ostenta.
- Con la implementación del variador de velocidad en las bombas centrifugas y la programación por horarios de las máquinas dispensadoras, se puede reducir los costos de mantenimiento en sus componentes electromecánicos, debido a que las bombas centrifugas pueden trabajar sin sobrecargas, con lo cual no genera un

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

desgaste considerable en los diferentes grupos de bobinas y bornes como tampoco en los rodamientos, sellos mecánicos y demás componentes; y en las máquinas dispensadoras se evita el desgaste excesivo de sus componentes por alta temperatura.

- El variador de velocidad en conjunto con el PLC nos ayuda a reducir los picos y sobrepicos de corriente en las bombas centrifugas como sucede normalmente con el arranque Estrella-Delta.
- Con la automatización del suministro eléctrico de las máquinas dispensadoras se logra un ahorro energético, pero también se contribuye un avance importante en la tarea de automatizar y agrupar diferentes sistemas en el edificio.

RECOMENDACIONES

- Se puede mejorar este proyecto de grado realizando un estudio minucioso de la energía reactiva que le cobran a Bancolombia, como penalización cuando se excede en el consumo, generando disminución en el factor de potencia y perjudicando a otros sectores que comparten los mismos circuitos.
- El presente proyecto ofrece las bases suficientes para la implementación del conjunto de actividades de ahorro energético que se propuso. Dada su fuerte viabilidad, sería interesante comprobar una vez más mediante la medición de la calidad de la energía eléctrica cuánto sería el consumo y qué porcentaje de ahorro real representaría frente al anterior sistema en operación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

TRABAJO FUTURO

Con este proyecto se logra mejorar las condiciones de funcionamiento de dos sistemas imprescindibles en Bancolombia Dirección General.

En el futuro podemos mejorar diferentes sistemas utilizando el Analizador de redes, ya que se pueden estudiar y mejorar diversas variables que inciden en el desempeño de motores monofásicos y trifásicos de diferentes características y procesos; podemos también analizar los motores eléctricos más robustos que hay en esta entidad, como son los motores de condensación y agua helada de los Chillers, de 40 y 30 hp respectivamente, el compresor y los motores de las torres de enfriamiento, todo en conjunto sumando 1200 amperios en el arranque, y son tres Chiller en total.

Con el PowerLink podemos llegar a unificar y controlar diversos sistemas monofásicos con el mismo objetivo de ahorrar energía eléctrica y automatizar la mayor parte de ellos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

7. REFERENCIAS

Agencia Andaluza de la Energía. (2011). Metodología para la elaboración de auditorias energeticas en la industria. Sevilla, España: Servigraf Artes Gráficas.

Barboza, A. (2013). Sistema de detección de fallas para una Bomba Centrífuga. Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico. Facultad de Ciencia e Ingeniería.

Dall'O', G., Speccher, A., & Bruni, E. (2012). The Green Energy Audit, a new procedure for the sustainable auditing of existing buildings integrated with the LEED Protocols. *ElServier, Sustainable Cities and Society* 3, 54-65.

Ministerio de Minas y Energía. (2007). Guia didactica para el desarrollo de Auditorias Energéticas. Republica de Colombia.

Universidad del Atlantico. (2009). *Ahorro de Energia en sistemas de Bombas Centrifugas*. Colciencias.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

APÉNDICE

A

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4704-3

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS CLASE III

Para mayor información sobre las características de diseño concernientes con la instalación, mantenimiento y seguridad de bombas centrífugas clase III diríjase a las siguientes referencias normativas:

NTC 1595: 1997, Mecánica. Bombas centrífugas, de flujo mezclado y axial, código para ensayos de aceptación, clase B.

NTC 1775: 1982, Mecánica. Bombas centrífugas, bombas de flujo axial y mixto, ensayos clase C para aceptación.

NTC 4767:2000, Bridas metálicas. Parte 2: bridas de hierro fundido.

ISO 76:1987, Rolling Bearings. Static Load Ratings

ISO 281:1990, Rolling Bearings. Dynamic Load Ratings and Rating Life

ISO 2372:1974, Mechanical Vibration of Machines with Operating Speeds from 10 to 200 rev/s –Basis for Specifying Evaluation Standards

ISO 3069:1974, End Suction Centrifugal Pumps. Dimensions of Cavities for Mechanical Seals and for Soft Packing

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ISO 7005-1:1992, Metallic Flanges – Part 1: Steel Flanges

ISO 7005-3:1988, Metallic Flanges – Part 3: Copper Alloy and Composite Flanges

ISO 9905, Technical Specifications for Centrifugal Pumps – Class I

Definiciones

Para los propósitos de esta norma se aplican las definiciones que se encuentran en la norma ISO 9905 y las siguientes:

- Condiciones nominales: condiciones necesarias (excepto el accionamiento) para cumplir todos los parámetros de operación definidos para el punto garantizado, teniendo en cuenta algunos márgenes necesarios.
- Salida nominal del accionamiento: es la potencia máxima permitida bajo las condiciones del sitio de operación.
- Presión-temperatura nominales: relación entre la presión y la temperatura, dada en forma de gráfico.

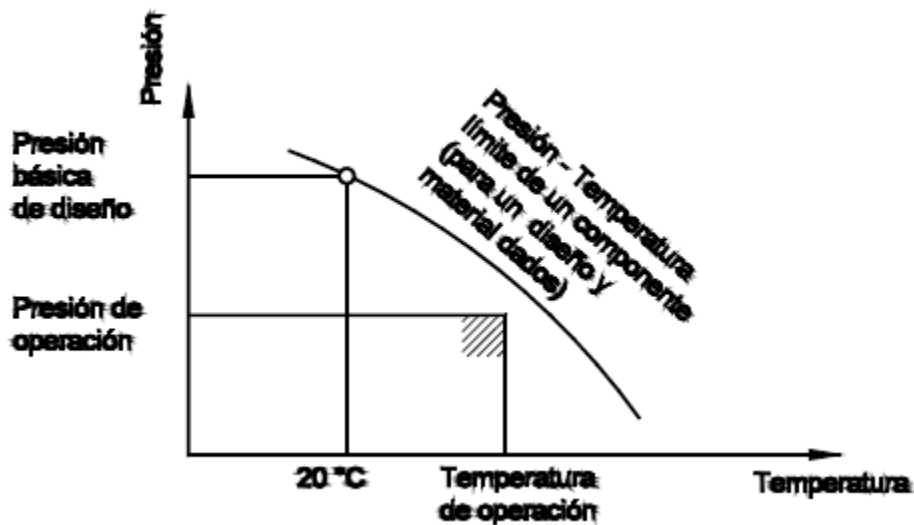


Figura 133. Relación entre temperatura y presión.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

B

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 34-12

MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATORIAS.

CARÁCTERÍSTICAS DE ARRANQUE DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN TIPO JAULA DE ARDILLA DE UNA SOLA VELOCIDAD.

Definiciones

Para los propósitos de esta norma se aplican las siguientes definiciones:

- **Torque nominal (T_N)**. Torque que el motor desarrolla en su eje a la potencia de salida y velocidad nominales.
 - (IEV 41-48-05)
- **Torque a rotor bloqueado (T_I)**. Torque mínimo medido que desarrolla el motor en su eje con el rotor bloqueado, cualquiera que sea su posición angular, a tensión y frecuencia nominales.
 - (IEV 411-48-6)
- **Torque mínimo durante el arranque (T_U) (*Pull – up torque*)**. Valor más pequeño del torque asincrónico en estado estacionario, que el motor desarrolla entre velocidad cero y la velocidad que corresponde al torque máximo cuando el motor está energizado a tensión y frecuencia nominales.

Esta definición no se aplica en el caso de motores asincrónicos cuyo torque disminuya continuamente cuando la velocidad aumente.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

NOTA Además de los torques asincrónicos en estado estacionario, a velocidades específicas existen torques armónicos sincrónicos que son función del ángulo de carga del rotor. A tales velocidades, el torque de aceleración puede ser negativo para ciertos ángulos de carga del rotor. La experiencia y el cálculo muestran que esta es una condición de funcionamiento inestable y que, en consecuencia, los torques sincrónicos armónicos no impiden la aceleración del motor y se excluyen de esta definición.

- **Torque máximo T_b) (*Breakdown torque*)**. Valor máximo en estado estacionario del torque asincrónico que desarrolla el motor sin caída abrupta de la velocidad, cuando está energizado a tensión y frecuencia nominales.

Esta definición no se aplica en el caso de motores asincrónicos cuyo torque disminuya continuamente cuando la velocidad aumente.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

C

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050

CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO

Cumplimiento.

Este código está hecho para que resulte adecuada su utilización por organismos que tengan jurisdicción legal sobre las instalaciones eléctricas y para ser aplicado por personal autorizado. La autoridad que tenga jurisdicción sobre el cumplimiento de este código debe ser responsable de interpretar las reglas, de decidir la aprobación de los equipos y materiales y de conceder los permisos especiales que contemplan algunas de estas reglas. La autoridad con jurisdicción puede pasar por alto determinados requisitos de este código o permitir métodos alternativos cuando esté segura de que se pueden conseguir objetivos equivalentes, creando y manteniendo una seguridad efectiva. Este código puede exigir nuevos productos, construcciones o materiales que quizá no estén disponibles en el momento de adopción de mismo. En tal caso, la autoridad con jurisdicción puede autorizar el uso de productos, construcciones o materiales que cumplan con los objetivos equivalentes de seguridad.

Unidades métricas de medida.

En este código se utilizan las unidades métricas de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). La sección de los conductores, de los cables, de las tuberías, la potencia de los motores y los tamaños de las cajas irán acompañados por el equivalente de su designación comercial que no reflejan medidas reales.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Cobertura. Este código cubre:


- 1) Las instalaciones de conductores y equipos eléctricos en o sobre edificios públicos y privados y otras estructuras, incluyendo casas móviles, vehículos de recreo y casas flotantes, y otras instalaciones como patios, parques de atracciones, estacionamientos, otras áreas similares y subestaciones industriales.

Nota. Para información sobre instalaciones en complejos industriales o de varias instalaciones, véase el National Electrical Safety Code. ANSI C2-1997.

- 2) Instalaciones de conductores y equipos que se conectan con fuentes de suministro de electricidad.
- 3) Instalaciones de otros conductores y equipos exteriores dentro de la propiedad.
- 4) Instalaciones de cables y canalizaciones de fibra óptica.
- 5) Instalaciones en edificaciones utilizadas por las empresas de energía eléctrica, como edificios de oficinas, almacenes, garajes, talleres y edificios recreativos que no formen parte integral de una planta generadora, una subestación o un centro de control.

Aplicación del código.

Dada una futura ejecución del proyecto de diseño de ahorro energético tener presente los capítulos de aplicación general 1, 2, 3 y 4 del presente código.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

D

INFORMACIÓN DE LA PANTALLA DEL ANALIZADOR DE REDES FLUKE 434-II

Del manual de uso Fluke 434-II/435-II/437-II

El analizador utiliza cinco tipos distintos de pantalla para mostrar resultados de medida de la manera más efectiva posible.

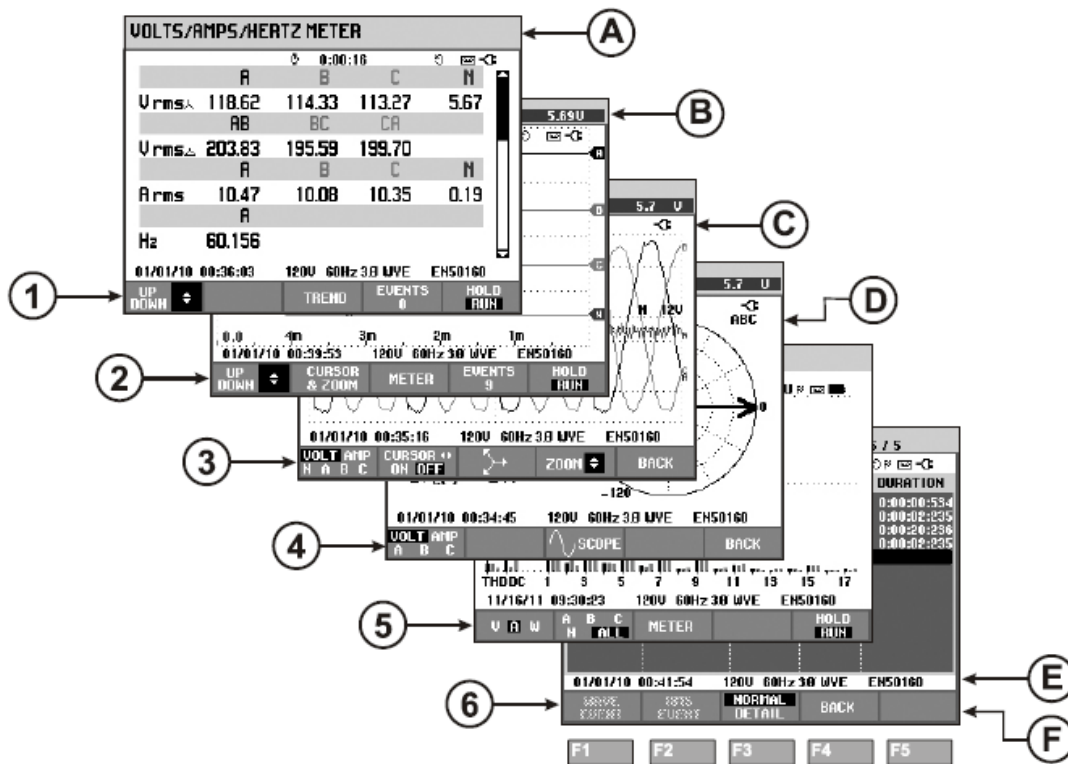




Figura 134. Visión general de los tipos de pantalla.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



- ① Pantalla de multímetro: proporciona una visión general instantánea de un gran número de valores numéricos de medida importantes. Todos estos valores se registran mientras la medida está activada. Se almacenan en la memoria cuando la medida se detiene. Se utiliza para todas las medidas, excepto para supervisión (Cap. 16) y onda de potencia (Cap. 19).
- ② Pantalla de tendencia: este tipo de pantalla está relacionado con una pantalla de multímetro. La tendencia muestra los cambios durante un periodo de tiempo de los valores de medida de una pantalla de multímetro. Cuando seleccione un modo de medida, el analizador iniciará la grabación de todas las lecturas en la pantalla de multímetro. Se utiliza para todas las medidas.
- ③ Pantalla de formas de onda: muestra las formas de onda de tensión y de corriente como aparecen en un osciloscopio. El canal A (L1) es el de referencia y aparecen 4 ciclos completos. La tensión y la frecuencia nominales determinan el tamaño de la retícula de medida. Se utiliza para: osciloscopio (Cap. 7), Transitorios (Cap. 18), Onda de potencia (Cap. 19) y Evento de onda en el Fluke 435-II/437-II.
- ④ Pantalla de fasor: muestra la relación de fase entre tensiones y corrientes en un diagrama de vectores. El vector del canal de referencia A (L1) se orienta en la dirección horizontal positiva. La amplitud A (L1) es también una referencia para el tamaño de la retícula de medida. Se utiliza para: osciloscopio fasorial (Cap. 7) y Desequilibrio (Cap. 14).
- ⑤ Pantalla de gráfico de barras: muestra la densidad de cada parámetro de medida en forma de porcentaje mediante un gráfico de barras. Se utiliza para: Armónicos (Cap. 10) y Supervisión de la calidad de la energía eléctrica (Cap. 16).
- ⑥ Lista de eventos: enumera los eventos que han ocurrido durante la medida con datos tales como la fecha y hora de inicio, la fase y la duración. Se utiliza para todas las medidas, excepto para Onda de potencia (Cap. 19)..


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- (A) Modo de medida: el modo de medida activo se muestra en el encabezado de la pantalla.
- (B) Valores de medida: valores numéricos de medida principales. Los colores de fondo varían según la fase y según si son para la tensión o la corriente. Si el cursor está activado, se mostrarán los valores en el cursor.
- (C) Indicadores de estado. Los siguientes símbolos pueden aparecer en la pantalla para mostrar el estado del analizador y las medidas:
- 3s**: Indicación de que el intervalo de agregación de 150/180 ciclos (3 s) (50/60 Hz) está activo. Si no se indica nada, el intervalo de agregación es de 10/12 ciclos (50/60 Hz). La indicación resulta útil para lecturas basadas en rms.
- ⌚-9999:59:59** Tiempo de realización de una medida. Formato: horas, minutos, segundos. Cuando se encuentra en espera de un inicio temporizado, se realiza la cuenta atrás del tiempo con el prefijo -.
- U** La medida puede ser inestable. Por ejemplo, es aplicable para lecturas de frecuencia durante la ausencia de tensión en fase de referencia A (L1).
- F** Indica, según la convención de indicaciones IEC61000-4-30, que se ha producido una fluctuación o una interrupción durante el intervalo de agregación mostrado. Indica que un valor agregado puede no ser fiable.

 /  El registro de los datos de medida se activa / desactiva.

  Indicador de rotación de los fasores.

  Indicación de batería/red eléctrica. Durante el uso con batería, aparece el estado de carga de la batería.

 Teclado bloqueado. Pulse ENTER durante 5 segundos para desbloquear y bloquear.


(D) Área principal con datos de medida: las características se explican en 1 ... 6.

(E) Línea de estado: la pantalla muestra la siguiente información. El procedimiento de ajuste de estos elementos se explica en el capítulo 20 de ajustes generales. Se proporciona la siguiente información:

01/21/06 Fecha del reloj en tiempo real del analizador. El formato de fecha puede ser mes-día-año o día-mes-año.

16:45:22 Hora del día o del cursor.

120V 60Hz Tensión de línea nominal y frecuencia: son una referencia para las medidas.

 Indicador de intensidad de la señal GPS.

3Ø WYE Número de fases y configuración del cableado para la medida.

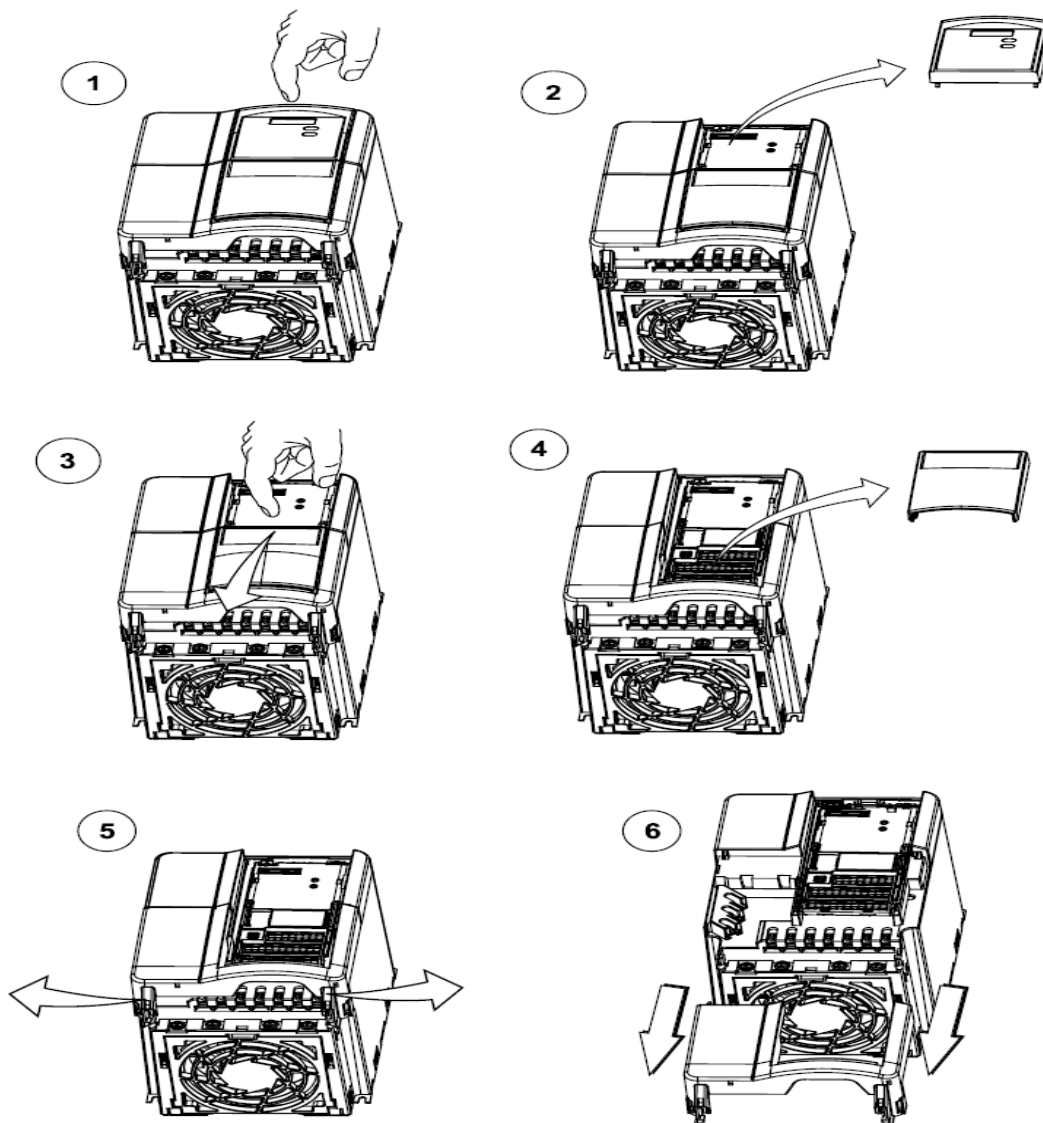
EN50160 Nombre de los límites utilizados para la supervisión de la calidad de la energía eléctrica y la detección de eventos.

(F) Área de texto de las teclas programables: las funciones de las teclas que se pueden seleccionar con F1 ... F5 se indican en blanco. Las funciones actualmente no disponibles se indican en gris. Las selecciones de las teclas de función activas aparecen resaltadas con un fondo negro.

E

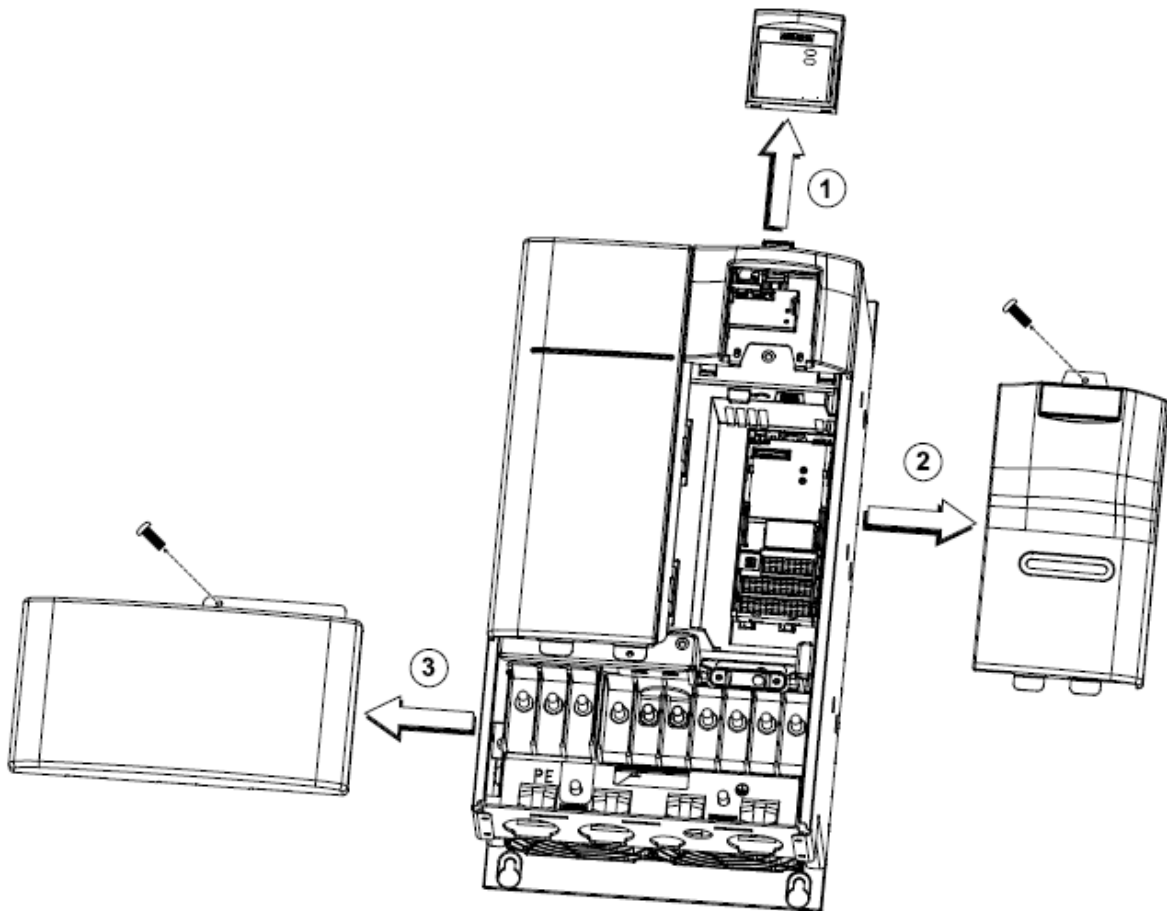
MICROMASTER 440: OTROS TAMAÑOS CONSTRUCTIVOS.

SACAR LAS TAPAS DE LOS TAMAÑOS CONSTRUCTIVOS B Y C



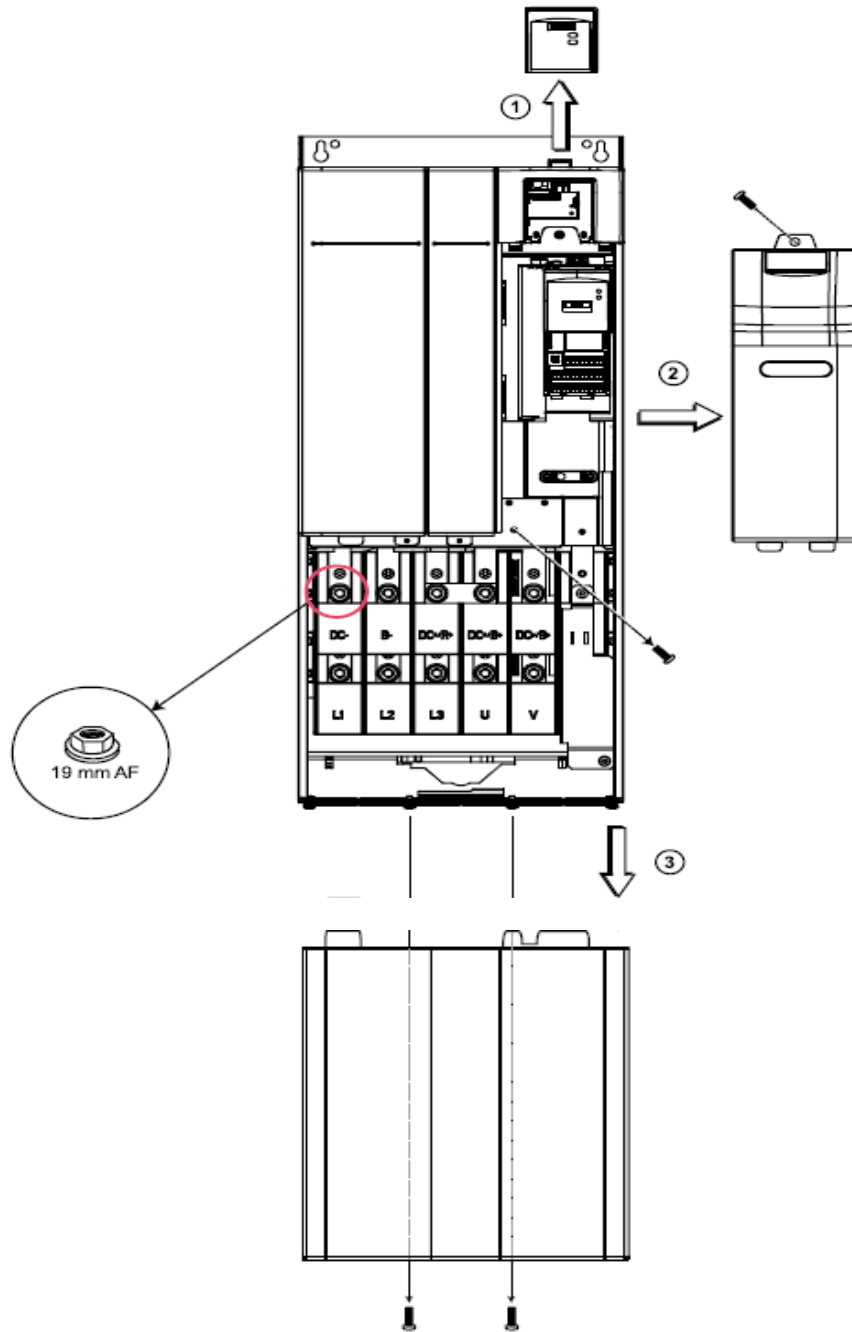
F

SACAR LAS TAPAS DE LOS TAMAÑOS CONSTRUCTIVOS D Y E



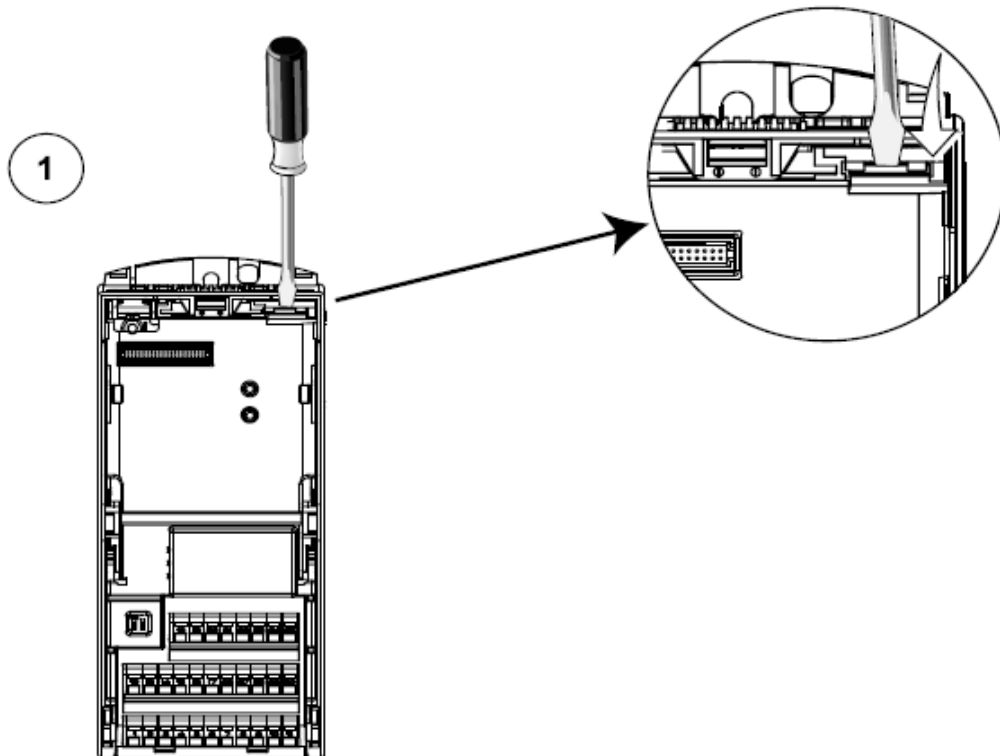
G

SACAR LAS TAPAS DEL TAMAÑO CONSTRUCTIVO F

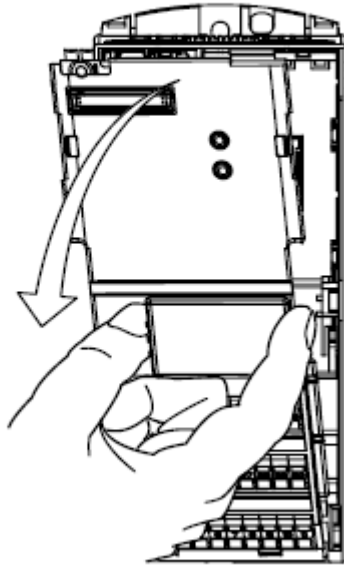


H

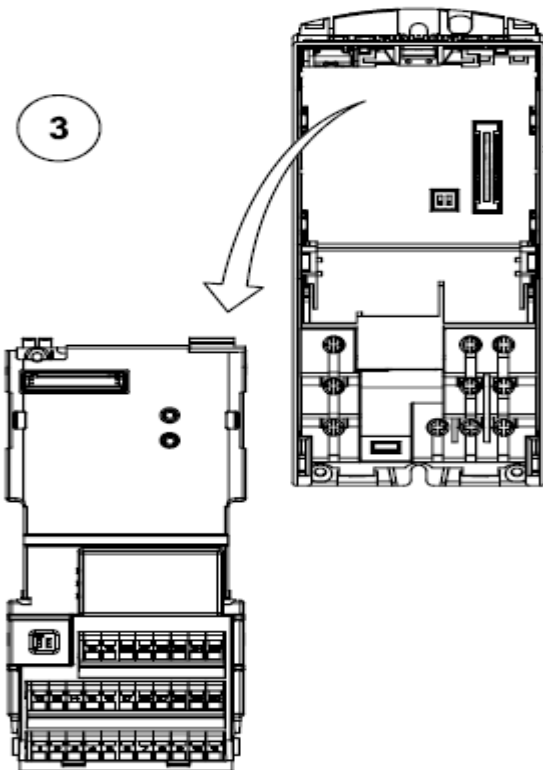
SACAR LA TARJETA E/S



2



3



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

I

NORMAS APLICABLES



Directiva europea de baja tensión

La gama de productos MICROMASTER cumple los requisitos de la directiva "Baja tensión" 73/23/CEE modificada por la directiva 98/68/CEE. Las unidades están certificadas de acuerdo a las normas siguientes:

- EN 60146-1-1 Convertidores a semiconductores - Requisitos generales y convertidores conmutados por red
- EN 60204-1 Seguridad de máquinas - Equipamiento eléctrico de máquinas

Directiva europea de máquinas

La serie de convertidores MICROMASTER no cae dentro del ámbito de aplicación de la directiva "Máquinas". Sin embargo, los productos se evalúan plenamente para que cumplan los aspectos de seguridad y salud de la directiva si se usan en una aplicación de máquina típica. Bajo consulta se tiene a disposición una Declaración de incorporación.

Directiva europea de compatibilidad electromagnética

Instalado de acuerdo a las recomendaciones descritas en este Manual, el MICROMASTER cumple todos los requisitos de la directiva "Compatibilidad electromagnética" especificados en la norma EN 61800-3.



Underwriters Laboratories

UL y CUL LISTED POWER CONVERSION EQUIPMENT 5B33 para uso con grade de contaminación 2.

ISO 9001

Siemens plc tiene implementado un sistema de gestión de calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

J

PARÁMETROS DE LA FUNCIÓN SCALE (FC105)

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Area de memoria	Descripción
EN	Entrada	BOOL	E, A, M, D, L	La entrada de habilitación con estado de señal 1 activa el cuadro.
ENO	Salida	BOOL	E, A, M, D, L	La salida de habilitación tiene el estado de señal 1 si la función se ejecuta sin errores.
IN	Entrada	INT	E, A, M, D, L, P, o constante	Valor de entrada a convertir a escala en valor REAL.
HI_LIM	Entrada	REAL	E, A, M, D, L, P, o constante	Límite superior del rango escalar.
LO_LIM	Entrada	REAL	E, A, M, D, L, P, o constante	Límite inferior del rango escalar.
BIPOLAR	Entrada	BOOL	E, A, M, D, L	El estado de señal 1 indica que el valor de entrada es bipolar; con el estado de señal 0 indica que es unipolar.
OUT	Salida	REAL	E, A, M, D, L, P	Resultado de la conversión a escala.
RET_VAL	Salida	WORD	E, A, M, D, L, P	Da el valor W#16#0000 cuando la función se ejecuta sin errores; si los valores son distintos de W#16#0000, véase la información sobre errores.

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Código	
Versión	
Fecha	

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____ 11/08/2016 _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____