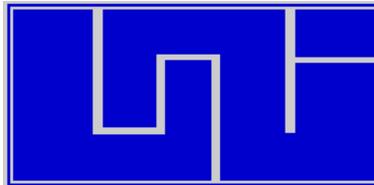


UNIVERSIDAD NAC. DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO SIMON BOLIVAR



FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION

TRABAJO MONOGRAFICO:

Estudio de la Implementación de Arranadores Suaves de Estado Sólido en motores asíncronos rotor jaula de ardilla de tres fases, para la Industria Nicaragüense.

PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO ELECTRICO.

PRESENTADO POR:

Br. Jhan Hamilton Chévez Acevedo.
Br. Milton Jerónimo Urbina Leiva.

TUTOR:

M.Sc. Ing. Edelberto Ponce Quezada.

Managua 31 de Octubre de 2006

AGRADECIMIENTO.

A Dios, sobre todas las cosas, pues sin su voluntad nada es posible.

A nuestros Padres y Familiares, por su apoyo incondicional, durante nuestra trayectoria estudiantil y durante el tiempo en que duro este trabajo monográfico.

Al Departamento de Ingeniería, al Departamento de Operaciones y Taller de Instrumentos, y a todo el personal en general de la Planta Managua, que nos brindaron su colaboración y apoyo.

A la Facultad de Electrotecnia y Computación (UNI-FEC).

A nuestro tutor Msc.Ing. Edelberto Ponce Quezada.

A todas las personas que se involucraron directa e indirectamente para brindar su colaboración, permitiéndonos culminar con este humilde trabajo.

A todas estas personas nuestro mas sincero agradecimiento.

DEDICATORIA.

Dedicamos este trabajo a nuestros Padres y Familiares por su abnegación, sacrificio y sabiduría en todos los momentos difíciles de nuestra formación académica. Por que han sido nuestro ejemplo y guías durante estos años, nuestra admiración, amor y respeto por siempre.

RESUMEN GENERAL.

El control de motores eléctricos es un tema que ha adquirido gran importancia a partir de la automatización de los procesos industriales y de la incorporación cada vez mas notoria de la electrónica de potencia en el control de diferentes funciones de las maquinas eléctricas. Esto ha sido la base para la realización de este trabajo monográfico el cual lleva por titulo: Estudio de la Implementación de Arrancadores Suaves de Estado Sólido para motores asíncronos rotor jaula de ardilla de tres fases, en la Industria Nicaragüense.

El presente documento está compuesto por siete capítulos ilustrados con imágenes alusivas al tema en cuestión, graficas y tablas que permitirán facilitar su lectura y comprensión. El orden de los capítulos va en forma didáctica y en consistencia a los objetivos específicos, a fin de poder asimilar paso a paso la información contenida en este trabajo.

El primer capitulo enfoca las generalidades para el arranque de motores de inducción, se introduce información de los distintos métodos de arranque en comparación con los Arrancadores Suaves, de igual manera se aborda la relevancia del motor de inducción.

En el segundo capitulo se abordan las características principales del arrancador suave haciendo énfasis en su circuito equivalente, formas de conexión, métodos de operación y parametrización, así como las diferentes opciones de arranque y paro del accionamiento que ofrecen los diferentes fabricantes, se presenta una clasificación de los diferentes tipos de arranques suaves y finalmente se describen los rangos de operación de un Arrancador Suave.

El tercer capitulo es una recopilación de las visitas de campo realizadas a las diferentes industrias que tienen implementada esta tecnología, se da una breve descripción de cada industria y/o empresa explicando sus procesos productivos en los que se puntualizan los equipos que tienen acoplados arrancadores suaves, mencionando sus capacidades, fabricantes, beneficios y ventajas que ofrece este tipo de arranque para cada proceso en particular.

En el cuarto capitulo se representa y se evalúa la propuesta de un diseño de Accionamiento eléctrico automatizado con Arrancadores Suaves en la Unidad Termoeléctrica de la Planta Managua, utilizando Módulos Lógicos Programables. Se presenta el estudio de caso en el Sistema de Enfriamiento de la unidad termoeléctrica, así como los principales equipos que lo conforman, brindando una descripción detallada de los parámetros de funcionamiento de la carga a accionar.

Se evalúa la lógica de control a seguir, mencionando los pasos para la selección de los elementos y dispositivos necesarios para cumplir con la estrategia de control.

Dentro del capitulo cinco se abordan las protecciones del diseño, tanto para el circuito de fuerza como para los circuitos de control, se realiza el dimensionamiento de cada uno de los dispositivos de protección y elementos que intervienen en el diseño acompañados de diagramas de funcionamiento, finalmente se considera la importancia del sistema de puesta a tierra para el buen funcionamiento de toda la instalación.

En el capítulo seis se aborda el estudio técnico-económico del proyecto a implementar en la unidad termoeléctrica de la Planta Managua, se describen los beneficios y ventajas del accionamiento eléctrico propuesto, se estudian las políticas de compra y venta de energía eléctrica en la empresa y en base a esto se plantean las estrategias de ahorro del proyecto, con ayuda de métodos de formulación y evaluación de proyectos se calcula la rentabilidad y se predice el tiempo de recuperación de la inversión inicial.

Finalmente, el capítulo siete brinda una guía para la explotación y mantenimiento del accionamiento eléctrico propuesto así como criterios de instalación de los diferentes equipos que intervienen en el mismo.

INTRODUCCION

Una de las funciones primarias dentro del control eléctrico de un motor es el arranque. El control del arranque de un motor es de suma importancia para determinadas industrias cuyos procesos de producción incluyen ciertos tipos de cargas con características muy particulares y que son accionadas mediante motores asíncronos rotor jaula de ardilla.

En algunos procesos industriales donde es importante obtener una seguridad y productividad máxima con el menor costo posible, se ha encontrado que los dispositivos electrónicos de estado sólido contribuyen a un mejor control de las funciones dentro de los diversos procesos productivos. Esto se ha logrado sin producir cambios en los aspectos básicos de los sistemas industriales.

Un arrancador de estado sólido se compone de tiristores controlados durante el arranque para mantener un porcentaje de la corriente de línea; al ir aumentando en forma gradual el voltaje de alimentación, se pueden controlar con facilidad la corriente y el par de arranque del motor.

Los arrancadores de estado sólido (arrancadores suaves) son los tipos mas nuevos y flexibles dentro de los arrancadores de corriente alterna a potencia reducida, estos incorporan otras funciones que varían según el fabricante, tales como: protecciones contra sobrecorrientes, asimetría, pérdida de una fase, sobretemperatura, vigilancia del tiempo de arranque, además de reducir los costos de mantenimiento y de obras civiles por ser mas compactos y no poseer contactos ni partes electromagnéticas.

Para el control del arranque de un motor asíncrono no requieren de resistores, inductores o autotransformadores y tampoco de construcción o alambrado especial del motor. No es necesario el uso de una desconexión mecánica para arranque y paro, ya que esta se realiza a través del circuito de control de baja potencia reduciendo así el mantenimiento por no existir contactos ni partes móviles

Dentro del Estudio Propuesto de Arrancadores Suaves de estado sólido para motores asíncronos rotor jaula de ardilla de tres fases en la Industria Nicaragüense, se analizarán las diferentes industrias que utilizan este control de arranque, donde se enfocan los beneficios y ventajas, tales como la reducción de la tarifa eléctrica y la minimización de problemas mecánicos del accionamiento, al prolongar tanto la vida útil de las partes involucradas como el mantenimiento correctivo de las partes dañadas.

Además en el estudio propuesto, se aborda la implementación de un accionamiento eléctrico con arrancadores suaves para la Unidad Termoeléctrica de la Planta Managua.

OBJETIVOS

Objetivo General.

- Realizar un estudio de la aplicación de arrancadores suaves de estado sólido, para motores asíncronos rotor jaula de ardilla de tres fases, en la Industria Nicaragüense.

Objetivos Específicos.

- Identificar en la actualidad, el empleo de Arrancadores suaves de estado sólido, en la industria Nicaragüense.
- Estudiar las características tecnológicas de un arrancador suave de estado sólido.
- Realizar una propuesta de implementación de arrancadores suaves en la Unidad Termoeléctrica de la Planta Managua.
- Elaborar un diseño de control automatizado para gobernar el sistema de enfriamiento de la unidad termoeléctrica de la Planta Managua.
- Determinar los costos de implementación para un accionamiento eléctrico de este tipo y predecir la recuperación económica de la inversión.

JUSTIFICACIÓN

Los motores asíncronos rotor jaula de ardilla son de uso muy común en la industria ya que son sencillos, compactos, robustos y requieren de muy poco mantenimiento. Se pueden encontrar este tipo de motores desempeñando muchas funciones en la industria Nicaragüense tales como el accionamiento de bombas de agua, ventiladores, compresores, cintas transportadoras, molinos, agitadores, etc.

Sin embargo, no es fácil conseguir que el arranque de estos motores sea satisfactorio desde el punto de vista técnico-económico, ya que el arranque a plena tensión de estos motores (arranque directo) puede presentar problemas de tipo eléctrico y mecánico porque origina picos excesivos de corriente, provocando al mismo tiempo caídas de tensión también inaceptables produciendo trastornos en la red.

Los problemas eléctricos se deben a que la corriente en el arranque llega a ser hasta de 7 veces la corriente nominal del motor, lo que ocasiona inconvenientes en el sistema lo que podría afectar a otros equipos conectados a la red, así como el disparo de las protecciones contra sobrecorriente; en adición, ocurren problemas mecánicos causados por el hecho de que el par del motor en el arranque generalmente es mucho mayor al demandado por la carga, lo que provoca entre otras cosas, patinado de correas, desgaste de acoplamientos, cajas de engranaje y cojinetes, así como golpes de ariete en sistemas de bombeos.

Las consecuencias financieras en estos casos son considerables ya que por cada problema técnico se tendría que sacar de servicio a la unidad productiva, y cada parada cuesta dinero debido a reparaciones en el equipo y con la consecuente pérdida de producción.

Por otro lado, cada día se eleva el costo de la energía eléctrica en el país, lo que obliga a la industria Nicaragüense a buscar e implementar nuevas formas de ahorro de energía, que le permitan reducir sus costos de producción y así poder obtener un mayor beneficio.

Ante lo planteado anteriormente, la mejor solución para resolver el problema del arranque de motores asíncronos rotor jaula de ardilla es la aplicación de arrancadores suaves de estado sólido, estos dispositivos reducen la tensión de alimentación al motor y por ende los picos de corriente en el arranque, controlándola de forma gradual y controlada hasta que el motor alcanza su velocidad nominal.

Por esto es de suma importancia el estudio de los arrancadores suaves de estado sólido, estos ofrecen ventajas técnicas y económicas no alcanzables con los tipos de arranque convencionales ya que reducen las posibilidades de daños en equipos e instalaciones eléctricas así como la reducción de la tarifa eléctrica, traduciéndose todo esto en ahorro de dinero.

Tabla de Contenido.

DEDICATORIA.
AGRADECIMIENTOS.
CARTA DE APROBACION.
RESUMEN GENERAL.
INTRODUCCION.
OBJETIVOS.
JUSTIFICACION.

CAPITULO I.....	1
1. GENERALIDADES	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Métodos de arranque convencionales en comparación con arrancadores suaves.....	1
1.2.1 Arranque Directo.....	1
1.2.2 Arranque a Tensión Reducida.....	2
1.2.2.1 El Arranque Estrella-Delta.....	2
1.2.2.2 El Arranque por autotransformador.....	2
1.2.2.3 Arranque con resistencias primarias.....	3
1.2.2.4 Arrancadores Suaves.....	4
1.3 Relevancia del Motor de inducción jaula de ardilla de tres fases.....	5
1.3.1 Características de los motores comerciales de inducción rotor jaula de ardilla según NEMA.....	6
CAPITULO II.....	8
2. CARACTERIZACION DEL ARRANCADOR SUAVE	
2.1 Introducción.....	8
2.2 El Arrancador Suave.....	8
2.2.1 Esquema básico de diseño de un Arrancador Suave.....	9
2.2.2 Control de Angular de Fase.....	10
2.3 Montaje del Arrancador Suave.....	11
2.4 Formas de Conexión del Arrancador Suave.....	11
2.5 Modos de Operación de un Arrancador Suave.....	12
2.6 Tipos de arranques posibles con un Arrancador Suave.....	13
2.6.1 Arranque suave con rampa de tensión.....	13
2.6.2 Arranque con refuerzo de par seleccionable.....	13
2.6.3 Arranque suave con limitación de corriente.....	14
2.6.4 Arranque con doble rampa.....	14
2.6.5 Arranque directo.....	15
2.6.6 Arranque con control de par.....	15
2.7 Opciones de Frenado con un Arrancador Suave.....	16
2.7.1 Parada Suave.....	16
2.7.2 Freno DC.....	16
2.7.3 Velocidad Lenta durante un tiempo seleccionable.....	17
2.8 Protecciones internas en el Arrancador Suave.....	17
2.8.1 Fallo de una fase de alimentación.....	18
2.8.2 Protección contra sobrecarga.....	18
2.8.3 Arrancador Sobrecalentado.....	18
2.8.4 Protección contra rotor bloqueado.....	18
2.8.5 Desequilibrio de Fases.....	18
2.8.6 Protección contra sobretensión y subtensión.....	19
2.8.7 Limitación de los arranques por hora.....	19
2.8.8 Tiristor cortocircuitado o abierto.....	19
2.8.9 Control contra inversión de fases.....	19
2.8.10 Protección de Subcarga (control del factor de potencia).....	19
2.8.11 Frecuencia de la Red.....	19
2.8.12 Arranque retardado.....	19
2.8.13 Limitador de par máximo y par mínimo.....	20
2.9 Programación del Arrancador Suave.....	20
2.10 Partes Auxiliares de un Arrancador Suave.....	21

TABLA DE CONTENIDO

2.10.1 Pantalla LCD..... 21

2.10.2 Teclado..... 21

2.10.3 Puerto de Comunicación Serie..... 21

2.11 Tipos de Control de arranque suave..... 22

2.12 Clasificación de los Rangos del Arrancador..... 23

CAPITULO III..... 24

3. APLICACIONES DEL ARRANCADOR SUAVE EN LA INDUSTRIA NICARAGUENSE.

3.1 Introducción..... 24

3.2 Ingenio San Antonio..... 24

3.2.1 *Reseña Histórica de la cogeneración en el Ingenio San Antonio*..... 25

3.2.2 *Beneficios de la cogeneración en Nicaragua*..... 26

3.2.3 *Ventajas de la cogeneración en el Ingenio San Antonio*..... 26

3.2.4 *Utilización de Arrancadores Suaves en la Planta de cogeneración del Ingenio San Antonio*..... 27

3.3 Ingenio Monte Rosa..... 29

3.3.1 *Generalidades del Ingenio Monte Rosa*..... 29

3.3.2 *Descripción Técnica del proyecto de cogeneración en el Ingenio Monte Rosa*..... 30

3.3.3 *La cogeneración como una tecnología para el desarrollo del Ingenio Monte Rosa*..... 31

3.3.4 *Uso de Arrancadores Suaves en el Ingenio Monte Rosa*..... 32

3.4 Compañía Licorera de Nicaragua..... 35

3.4.1 *Descripción*..... 35

3.4.2 *Arrancadores Suaves instalados en la Compañía Licorera de Nicaragua*..... 35

3.5 Empresa Constructora Fourcon..... 38

3.5.1 *Descripción*..... 38

3.5.2 *Implementación de Arrancadores Suaves en Fourcon*..... 39

3.6 Compañía Cervecera de Nicaragua S, A..... 40

3.6.1 *Descripción*..... 40

3.6.2 *Implementación de Arrancadores Suaves en CCN*..... 41

3.7 Planta Nicaragua (GEOSA)..... 41

3.7.1 *Descripción*..... 41

3.7.2 *Implementación de Arrancadores Suaves en la Planta Nicaragua*..... 42

3.8 Panamco..... 44

3.8.1 *Descripción de la Empresa*..... 44

3.8.2 *Utilización de Arrancadores Suaves*..... 44

CAPITULO IV..... 47

4. IMPLEMENTACION DE UN ACCIONAMIENTO ELECTRICO CON ARRANCADORES SUAVES PARA LA UNIDAD TERMoeLECTRICA DE LA PLANTA MANAGUA

4.1 Introducción..... 47

4.2 Estudio de Caso: Aplicación de Arrancadores Suaves para la Torre de Enfriamiento de la unidad termoelectrica de la Planta Managua..... 48

4.2.1 *Características de la carga*..... 49

4.2.2 *Sistema de enfriamiento de la unidad termoelectrica*..... 49

4.2.3 *Procesos y equipos en los que interviene el agua de circulación proveniente de la torre*..... 51

4.2.4 *Ventiladores de la torre de enfriamiento*..... 53

4.3 Selección del Arrancador Suave para los motores de la torre de enfriamiento..... 54

4.3.1 *Aspectos a tomar en cuenta para la selección del arrancador suave*..... 55

4.3.2 *Determinación de la capacidad del Arrancador Suave*..... 56

4.4 Criterios de Accionamiento de los Ventiladores de la Torre de Enfriamiento..... 57

4.4.1 *Estrategia de Control de los Ventiladores*..... 58

4.5 Descripción de un Modulo Lógico Programable (MLP)..... 59

4.5.1 *Funcionamiento de un Modulo Lógico Programable (MLP)*..... 59

4.5.2 *Componentes de un MLP*..... 59

4.6 Criterios de Selección del MLP a utilizar..... 60

4.6.1 *Requerimientos para la selección del tipo de LOGO y de los módulos de ampliación*..... 61

4.7 Funciones Lógicas utilizadas en el diseño del Programa de Control con LOGO Basic 12/24 RC..... 61

4.7.1 *Descripción de las funciones utilizada*..... 61

4.7.2 *Lógica de Funcionamiento del Programa de Control con LOGO Basic 12/24 RC*..... 62

4.8 Circuito de Control Señalización y Alarma..... 64

4.8.1 *Fuentes de Tensión*..... 64

TABLA DE CONTENIDO

4.8.2 Descripción y ubicación de los elementos de Control.....	65
4.8.3 Elementos de Señalización y Alarma.....	66
4.8.4 Función de los Contactores.....	66
4.9 Circuito de Fuerza.....	68
4.10 Fuente de Alimentación de 24 VDC.....	69
4.10.1 Voltajes y frecuencia de la fuente de alimentación.....	69
4.10.2 Capacidad de potencia requerida.....	69
4.10.3 Número de salidas requeridas.....	69
4.11 Características de las baterías de 12 VDC.....	70
4.12 Transformador para alimentación de control.....	71
4.13 Sensores para medir la Temperatura de los parámetros.....	72
4.13.1 Introducción de las señales analógicas de temperatura al LOGO.....	73
CAPITULO V.....	74
5. PROTECCIONES ELÉCTRICAS Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS DEL DISEÑO PROPUESTO.	
5.1 Protección contra sobrevoltajes transitorios.....	74
5.1.1 Supresor de voltajes transitorios.....	74
5.1.2 Criterios de Selección.....	74
5.2 Apartarrays de baja tensión.....	76
5.2.1 Selección del Apartarrayo de baja tensión.....	76
5.2.2 Formas de conexión del Apartarrayo.....	77
5.3 Protección contra cortocircuito.....	78
5.3.1 Protección para semiconductores.....	78
5.3.2 Protección de Fases.....	78
5.4 Protección contra Sobrecarga.....	79
5.5 Interruptores de Potencia.....	79
5.5.1 Interruptor general de potencia.....	79
5.5.2 Corriente nominal del interruptor.....	80
5.5.3 Interruptor de tres posiciones.....	80
5.6 Rele de Asimetría de Tensión.....	80
5.7 Selección de Contactores.....	81
5.7.1 Contactores de Fuerza.....	81
5.7.2 Contactores para control.....	82
5.8 Diseño de la red de tierra.....	82
5.8.1 Introducción.....	82
5.8.2 Funciones de la red de tierra.....	83
5.8.3 Calculo de la red de tierra.....	83
5.9 Selección de los cables de Fuerza.....	85
5.9.1 Criterio de selección del cable de fuerza.....	85
5.9.2 Procedimiento para seleccionar los cables de fuerza.....	86
5.10 Selección de los cables del Circuito de Control.....	86
5.10.1 Consideraciones para la selección de los cables del circuito de control.....	87
5.11 Protecciones del circuito de Control.....	89
CAPITULO VI.....	91
6. ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE ARRANCADORES SUAVES EN LA UNIDAD TERMoeLECTRICA DE LA PLANTA MANAGUA.	
6.1 Introducción.....	91
6.2 Beneficios y Ventajas.....	91
6.3 Inversión inicial del proyecto.....	92
6.4 Compra-Venta de energía en la Unidad Termoeléctrica de la Planta Managua.....	93
6.5 Estrategias de Ahorro del proyecto.....	93
6.5.1 Optimización del consumo de energía de los motores que accionan los ventiladores de la torre.....	93
6.5.2 Reducción de los Picos de Demanda Máxima.....	97
6.5.3 Minimización de Costos por Vibraciones.....	99
6.5.4 Reducción de Costos por Mantenimiento Correctivo.....	100
6.6 Evaluación Económica y Rentabilidad del proyecto.....	101
6.6.1 Calculo de las Utilidades Anuales.....	101
6.6.2 Método del Valor Presente Neto (VPN).....	102
6.6.3 Método de la Tasa Interna de Rendimiento (TIR).....	103

CAPITULO VII.....	105
RECOMENDACIONES DE EXPLOTACION, CRITERIOS DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL ACCIONAMIENTO ELECTRICO EN LA UNIDAD TERMoeLECTRICA DE LA PLANTA MANAGUA.	
7.1 Introducción.....	105
7.2 Consideraciones del ambiente de instalación de los equipos electrónicos (Arrancador Suave, MLP)...	105
7.2.1 <i>Temperatura de trabajo</i>	105
7.2.2 <i>Humedad</i>	106
7.2.3 <i>Golpes y Vibraciones</i>	106
7.3 Consideraciones de cableado de los circuitos.....	106
7.3.1 <i>Cableado para las señales de control y de MLP</i>	106
7.3.2 <i>Conexión a tierra</i>	107
7.4 Localización de fallas y mantenimiento preventivo en el Arrancador Suave.....	107
7.4.1 <i>Fallas en el circuito de potencia (tiristores)</i>	108
7.4.2 <i>Fallas en el circuito de Control</i>	108
7.4.3 <i>Mantenimiento preventivo del Arrancador Suave</i>	109
7.4.4 <i>Procedimientos de Comprobación y medida del Arrancador Suave</i>	109
7.4.5 <i>Programación de los principales parámetros de los Arrancadores Suaves</i>	111
7.5 Instalación y Mantenimiento preventivo de los Gabinetes o Celdas.....	111
7.5.1 <i>Distribución del Gabinete NEMA 3R</i>	112
7.5.2 <i>Fuerza y Bus de tierra</i>	112
7.5.3 <i>Mantenimiento preventivo del Gabinete</i>	113
7.6 Mantenimiento preventivo de los motores de la torre de enfriamiento.....	113
7.7 Mantenimiento preventivo de los ventiladores de la torre de enfriamiento.....	114
7.8 Que hacer ante problemas de vibración en la torre de enfriamiento.....	114
7.9 Puesta en marcha de los ventiladores.....	115
7.10 Mantenimiento preventivo de los equipos auxiliares del accionamiento.....	115
7.10.1 <i>Contactores</i>	115
7.10.2 <i>Relé de Sobrecarga</i>	116
7.10.3 <i>Interruptores</i>	116
7.10.4 <i>Dispositivos de protección</i>	116
7.10.5 <i>Red de tierra</i>	116
7.10.6 <i>Elementos de control</i>	117
CONCLUSIONES.....	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
NOMENCLATURA DE CÁLCULOS REALIZADOS.....	122
APÉNDICES.....	124
ANEXOS	
GLOSARIO	

1. Generalidades para el Arranque de Motores de Inducción Trifásicos.

1.1 Introducción.

Se denomina arranque de un motor al régimen transitorio en el que se eleva la velocidad del mismo desde el estado de motor detenido hasta el de motor girando a la velocidad de régimen permanente.

El estudio del arranque de los motores tiene una gran importancia práctica, ya que la elección correcta de las características de los motores eléctricos y arrancadores a instalar están basados en el conocimiento de las particularidades de éste régimen transitorio.

Para que el conjunto motor-carga comience a girar se necesita que el par del motor supere al par resistente, permitiendo generar una aceleración angular de arranque. El proceso de arranque finaliza cuando se equilibra el par del motor con el par resistente, estabilizándose la velocidad de giro del motor.

Los motores de corriente alterna con rotor en jaula de ardilla se pueden poner en marcha mediante los métodos de arranque directo o a tensión reducida.

En ambos casos, la corriente de arranque generalmente resulta mayor que la nominal, produciendo perturbaciones en la red de distribución.

1.2 Métodos de Arranque Convencionales en Comparación con Arrancadores Suaves.

1.2.1 Arranque Directo.

Es la forma más trivial de arrancar un motor asíncrono rotor jaula de ardilla pero presenta muchos inconvenientes ya que la corriente de arranque es hasta 7 veces la corriente nominal del motor, sus principales desventajas son:

- El alto par de arranque causa esfuerzos al motor y a la carga incrementando costos de mantenimiento.
- Las altas corrientes causan esfuerzos al motor y a la línea, esto tiene efectos al dimensionar la línea y los paneles de distribución.
- No hay influencia en el arranque o paro del motor.

1.2.2 Arranque a Tensión Reducida.

Los arrancadores de reducción de tensión más comunes en motores asíncronos rotor jaula de ardilla son:

- Arrancadores estrella/triángulo
- Arrancadores de Auto-transformador
- Arrancadores de resistencia primaria
- Arrancadores suaves

1.2.2.1 El arranque estrella/delta.

Es la forma más económica de arranque con reducción de tensión pero sus prestaciones son limitadas. Las limitaciones más significativas son:

- No hay control sobre el nivel de reducción de la corriente ni del par, estando fijados a un tercio de los niveles de tensión máxima.
- Normalmente se producen importantes cambios de la corriente y del par debido a que el arrancador pasa de estrella a triángulo. Esto aumenta el la fatiga mecánica y eléctrica y puede producir una avería. Los cambios se producen debido a que el motor se encuentra en movimiento y entonces al desconectarse el suministro de energía hace que el motor actúe como un generador con tensión de salida que puede ser de la misma amplitud que el suministro de energía. Esta tensión está todavía presente cuando se reconecta el motor en la configuración delta, y puede estar exactamente fuera de fase. El resultado es una corriente de hasta dos veces la corriente de bloqueo del motor y cuatro veces el par bloqueo del motor.
- Solo puede ser utilizado con motores estrella/delta.

1.2.2.2 El arranque por autotransformador.

Ofrece un mayor control que el método estrella/triángulo, sin embargo la tensión sigue todavía aplicándose por tramos. Las limitaciones del arranque auto-transformador incluyen;

- Cambios en el par debidos al paso de una tensión a otra.
- Un número limitado de los escalones de tensión de salida limitan las posibilidades de seleccionar adecuadamente la corriente de arranque ideal.
- Los modelos aptos para condiciones de arranque frecuente o de larga duración son caros.
- No pueden realizar un arranque con reducción de tensión eficaz con cargas en las que las necesidades de arranque varíen. Por ejemplo, una cinta transportadora se puede arrancar cargada o sin cargar. El arrancador auto-transformador se puede optimizar en una de estas condiciones.

1.2.2.3 Arranque con resistencias primarias.

También ofrecen un mayor control de arranque que los arrancadores estrella/triángulo. Sin embargo tienen una serie de características que reducen su efectividad. Algunas de estas son:

- Dificultad de optimizar el rendimiento del arranque cuando está en servicio porque el valor de resistencia se tiene que calcular cuando se realiza el arranque y no es fácil cambiarlo después.
- Bajo rendimiento en situaciones de arranque frecuente debido a que el valor de resistencia cambia a medida que se va generando calor en las resistencias durante un arranque. Necesita largos períodos de refrigeración entre arranques.
- Bajo rendimiento en arranques con cargas pesadas o en arranques de larga duración ya que el calor acumulado en las resistencias cambia el valor de resistencia.
- No realiza un arranque con reducción de tensión efectivo cuando se trata de cargas en las que las necesidades de arranque varían.

1.2.2.4 Arrancadores Suaves (Arrancadores de Estado Sólido)



Son los arrancadores con reducción de tensión más avanzados. Ofrecen un control superior sobre la corriente y el par y tienen incorporados elementos avanzados de protección del motor e interfaces de comunicación con el operario.

Figura 1.1 Arrancador Suave

Las principales ventajas que ofrecen los arrancadores suaves son;

1. Control simple y flexible sobre la corriente y el par de arranque.
2. Control uniforme de la corriente y la tensión libre de saltos o transiciones.
3. Apto para realizar arranques frecuentes.
4. Apto para un cambio sencillo de las condiciones de arranque.
5. Control de parada suave que amplía el tiempo de deceleración del motor.
6. Control de frenado que reduce el tiempo de deceleración del motor.
7. Esfuerzo mínimo en la carga, motor y línea.
8. Mucho más pequeño y compacto.

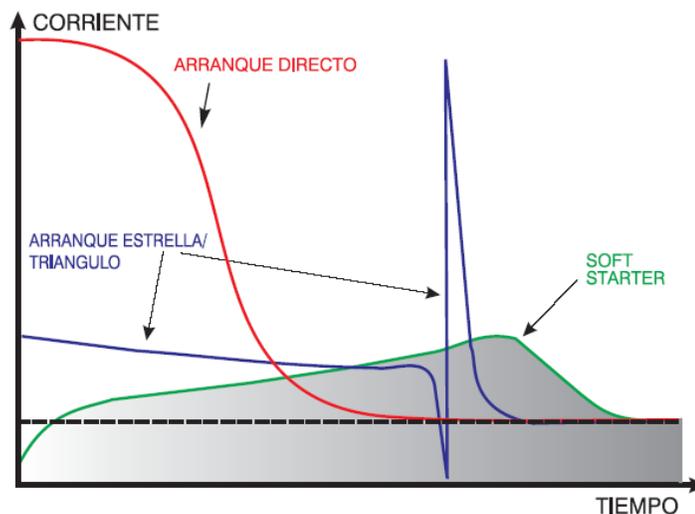


Figura 1.2 Curvas Comparativas entre los métodos de Arranque.

1.3 Relevancia del Motor de Inducción Rotor Jaula de Ardilla de Tres Fases.



Figura 1.3 Motor de Inducción.

Hace poco más de 110 años que el motor eléctrico hizo su aparición en el ámbito industrial y desde entonces ha extendido su presencia a prácticamente toda actividad del hombre, y ahora en mayor grado, gracias a innovaciones de la electrónica de potencia.

El motor Asíncrono rotor jaula de ardilla de tres fases de baja, media y alta tensión es uno de los equipos eléctricos de mayor aplicación en el ámbito industrial, por ser robustos, y sencillos, económicamente son muy atractivos, su costo es de aproximadamente 1/3 comparado con la maquina síncrona hasta potencias de 50 kW.

Debido a que el par máximo del motor síncrono es aproximadamente la tercera parte del correspondiente al del motor asíncrono rotor jaula de ardilla, el armazón del estator de un motor síncrono de inducción es tres veces más grande que el de un motor asíncrono rotor jaula de ardilla de la misma potencia. Además, que necesita de un mayor tamaño de armazón para disipar calor.

Un gran numero de motores asíncronos rotor jaula de ardilla de gran capacidad se utilizan en la industria minera, petrolera y del acero, este es preferible al motor de corriente continua para trabajo con velocidad constante, porque el costo inicial es menor y la ausencia de conmutador reduce el mantenimiento. También hay menos peligro de incendio en muchas industrias, como aserraderos, molinos de granos, fabricas textiles y fabricas de pólvoras. Su empleo en lugares como fábricas de cementos es ventajoso, pues debido al polvo fino, es difícil el mantenimiento de los motores de corriente continua.

Cuando se desarrolló por primera vez el rotor de doble jaula de ardilla se creo tal variedad y adaptabilidad en el diseño de rotores para motores de inducción que ha llevado a diversas características de curva deslizamiento - par. Al dar la proporción correcta al devanado de doble jaula de ardilla, los fabricantes han desarrollado numerosas variaciones del diseño del rotor. Estas variaciones tienen por consecuencia pares de arranque mayores o menores que el diseño normal y también menores corrientes de arranque.

Para distinguir entre diversos tipos disponibles, la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla se fabrica de acuerdo con determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una letra.

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces el nominal)	Corriente de Arranque	Regulación de Velocidad (%)	Nombre de clase del motor
A	1.5 - 1.75	5 - 7	2 - 4	Normal De propósito general De doble jaula, alto par De alto par, alta resistencia De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque.
B	1.4 - 1.6	4.5 - 5	3.5	
C	2 - 2.5	3.5 - 5	4 - 5	
D	2.5 - 3.0	3 - 8	5 - 8 , 8 - 13	
F	1.25	2 - 4	mayor de 5	

Tabla 1.1 Clasificación de los motores de inducción según NEMA.

1.3.1 Características de los motores comerciales de inducción rotor jaula de ardilla de acuerdo con la clasificación en letras NEMA.^[2]

1.3.1.1 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla clase A.

El motor clase A es un motor de jaula de ardilla normal o estándar fabricado para uso a velocidad constante. Tiene grandes áreas de ranuras para una muy buena disipación de calor, y barras con ranuras ondas en el motor. Durante el periodo de arranque, la densidad de corriente es alta cerca de la superficie del rotor; durante el periodo de la marcha, la densidad se distribuye con uniformidad. Esta diferencia origina algo de alta resistencia y baja reactancia de arranque, con lo cuál se tiene un par de arranque entre 1.5 y 1.75 veces el nominal (a plena carga). El par de arranque es relativamente alto y la baja resistencia del rotor producen una aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal.

Tiene la mejor regulación de velocidad pero su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal normal, haciéndolo menos deseable para arranque con línea, en especial en los tamaños grandes de corriente que sean indeseables.

1.3.1.2 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla clase B.

A los motores de clase B a veces se les llama motores de propósito general; es muy parecido al de la clase A debido al comportamiento de su deslizamiento-par. Las ranuras del rotor son más profundas que las de los motores de clase A y esta mayor profundidad tiende a aumentar la reactancia de arranque y la marcha del rotor. Este aumento reduce un poco el par y la corriente de arranque. Las corrientes de arranque varían entre 4 y 5 veces la corriente nominal en los tamaños mayores de 5 HP se sigue usando arranque a voltaje reducido. Los motores de clase B se prefieren sobre los de la clase A para tamaños mayores. Las aplicaciones típicas comprenden las bombas centrífugas de impulsión, las máquinas herramientas y los sopladores.

1.3.1.3 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla clase C.

Estos motores tienen un rotor de doble jaula de ardilla, el cual desarrolla un alto par de arranque y una menor corriente de arranque.

Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente, sin embargo cuando se emplea en grandes cargas, se limita la disipación térmica del motor por que la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior.

En condiciones de arranque frecuente, el rotor tiene tendencia a sobre calentarse, se adecua mejor a grandes cargas repentinas pero de baja inercia. Las aplicaciones de los motores de clase C se limitan a condiciones en las que es difícil el arranque como en bombas y compresores de pistón.

1.3.1.4 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla clase D.

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla clase D se conocen también como de alto par y alta resistencia. Las barras del rotor se fabrican en aleación de alta resistencia y se colocan en ranuras cercanas a la superficie y de pequeño diámetro. La relación de resistencia a reactancia del par de arranque es mayor que en los motores de las clases anteriores.

El motor está diseñado para servicio pesado de arranque, encuentra su mayor aplicación con cargas como trituradoras machacadoras, que necesitan el alto par con aplicación a carga repentina la regulación de velocidad en esta clase de motores es la peor.

1.3.1.4 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla de clase F.

También conocidos como motores de doble jaula y bajo par. Están diseñados principalmente como motores de baja corriente, porque necesita la menor corriente de arranque de todas las clases. Tiene una alta resistencia del rotor tanto en su devanado de arranque como en el de marcha y tiende a aumentar la impedancia de arranque y de marcha, y a reducir la corriente de marcha y de arranque.

El rotor de clase F se diseñó para reemplazar al motor de clase B. El motor de clase F produce pares de arranque aproximadamente 1.25 veces el par nominal y bajas corrientes de arranque de 2 a 4 veces la nominal. Los motores de esta clase se fabrican de la capacidad de 25 HP para servicio directo de la línea.

Debido a la resistencia del rotor relativamente alta de arranque y de marcha, estos motores tienen menos regulación de voltaje que los de clase B, baja capacidad de sobrecarga y en general de baja eficiencia de funcionamiento.

2. Caracterización del Arrancador Suave.



2.1 Introducción.

Un motor de AC que es conectado directamente a una fuente de alimentación alcanzara su velocidad tan rápidamente como sea posible. Esto ocasionará un consumo elevado de corriente en la fuente de alimentación y acelerara la aplicación con el máximo par disponible, dependiendo de la aplicación esto puede causar diferentes problemas.

Figura 2.1 Arrancadores Suaves de la Marca Saftronics.

Diferentes aplicaciones como bombas, transportadores, maquinas centrifugas deben ser arrancadas de una manera suave, y algunas veces también deben ser paradas de manera controlada con la idea de prevenir golpes mecánicos, fatiga y torsión de ejes o acoplamientos. El riesgo de daño que equipos y procesos pueden sufrir es muy grande además de que el arranque frecuente de estas aplicaciones de alta inercia también generan un esfuerzo sobre el motor y la fuente de alimentación.

2.2 El Arrancador Suave

Es un equipo electrónico a base de semiconductores de estado sólido que permite la puesta en marcha de motores asíncronos rotor jaula de ardilla de tres fases de una manera controlada. Este reduce la tensión de la red de alimentación, en bornes del motor. Simultáneamente, desciende la corriente de arranque de manera proporcional a la tensión de bornes.

Las partes principales que conforman un arrancador suave son:

- ⊕ Unidad de control.
- ⊕ Circuito de Potencia.
- ⊕ Dispositivos de protección.

La unidad de control: esta compuesta por microprocesadores que controlan la corriente de alimentación al motor, utilizando el sistema de control de fase angular, con lo que se consigue variar el ángulo de disparo de los tiristores. El microprocesador suministra la secuencia lógica para las señales del arrancador a la tarjeta de fuerza y después a las tarjetas de impulso que son usadas para manejar los tiristores.

Si se detecta una falla, la lógica de control del arrancador nos provee una indicación completa de la misma vía LCD (Cristal Liquid Display), dándonos en el evento, las condiciones de la falla, asegurando así que el arrancador se habrá dejado de operar para proteger el motor.

El circuito de potencia: esta compuesto por dos tiristores conectados en antiparalelo por fase, gobernados por el modulo de control proporcionando un control total de ondas en las tres fases. A través de este se suministra la corriente al motor.

Los dispositivos de protección: actúan ante cualquier falla presente tanto en el motor, la carga que accione y en el propio arrancador.

Este avanzado sistema de arranque realiza las siguientes funciones básicas:

- ⊕ Control de arranque.
- ⊕ Control de parada.
- ⊕ Protección electrónica del motor.
- ⊕ Visualización e interfase de comunicación.

Dentro de las aplicaciones más comunes tenemos:

- ⊕ Bombas centrifugas
- ⊕ Ventiladores / Sopladores / Extractores.
- ⊕ Compresores.
- ⊕ Mezcladoras.
- ⊕ Trituradoras / Moledoras.
- ⊕ Prensas.
- ⊕ Grúas.
- ⊕ Bandas transportadoras.
- ⊕ Agitadores.
- ⊕ Molinos.

2.2.1 Esquema Básico de Diseño de un Arrancador Suave.

El Esquema básico de un Arrancador Suave está basado en la lógica del recorte de fase la cual es utilizada para el arranque de motores asíncronos rotor jaula de ardilla, ya que disminuye el pico de corriente con una aplicación de tensión progresiva^[3].

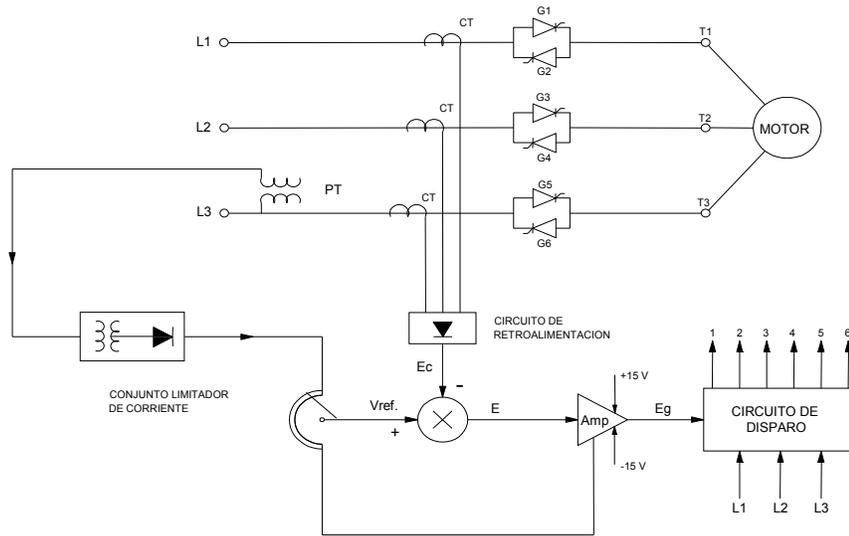
EL voltaje de referencia es proporcionado por un transformador de potencial conectado en una de las fases. A través de transformadores de corriente en cada fase se obtiene una señal proporcional a la corriente instantánea que circula por cada una de las líneas de alimentación al motor. Para el procesamiento de las señales es más conveniente tener esta señal de corriente en forma de voltaje de corriente directa, convirtiendo y rectificando la salida AC de los transformadores de corriente.

El voltaje E_c , que representa la condición o valor actual de corriente, es retroalimentado negativamente a un discriminador de señales electrónicas (usualmente un circuito sumador) y sumado algebraicamente con el voltaje de referencia V_{ref} , que representa el límite de corriente deseado.

La diferencia entre ambas señales, V_{ref} y E_c , es la señal de error E , que hace actuar al circuito de disparo.

$$E = V_{ref} - E_c \quad [2-1]$$

Cuando el motor es arrancado a un valor fijado de corriente de arranque, E_c toma su valor máximo por tanto E se reduce; esto causa un aumento en el ángulo de disparo de los tiristores en consecuencia se reduce el voltaje de alimentación al motor. A medida que el motor va acelerando E_c se reduce gradualmente con la disminución de corriente del motor, por tanto E aumenta provocando que el ángulo de disparo de los tiristores se reduzca y el voltaje de alimentación al motor sea mayor.



Esquema 1.1 Diagrama de bloques de un Arrancador Suave.

2.2.2 Control Angular de Fase.

El recorte de fase permite disminuir la tensión eficaz en los bornes de un motor asíncrono. Los tiristores no se ceban al paso de la tensión por cero sino que se retardan más o menos el cebado según la tensión eficaz deseada en los bornes del motor. Se recuerda que el valor de la tensión eficaz se calcula [3]:

$$V_{ef} = 480 \sqrt{\frac{(180 - \alpha)}{180 - (\text{sen } 2\alpha) / 2\pi}} \quad [2-2]$$

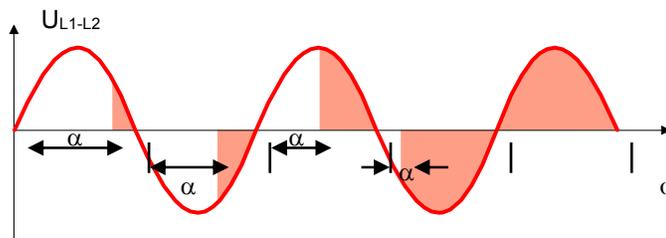


Figura 2.2 Control del Angulo de disparo de los Tiristores.

2.3 Montaje del Arrancador Suave.

La instalación del modulo del arrancador puede hacerse en cuadros abiertos, en cajas o en armarios. Esta permitida una altitud de instalación de hasta 1000 m sobre el nivel del mar (altitud promedio de todos los fabricantes). Respetando los márgenes mínimos con respecto a otros equipos con el fin de que exista una buena ventilación del armario y que se limite la temperatura en el mismo. El equipo se debe montar en posición vertical sobre una superficie plana.

2.4 Formas de Conexión.

Los arrancadores suaves de estados sólidos presentan dos variantes de conexión:

- El arrancador esta conectado en línea con el motor.

En este caso la corriente del arrancador es la misma que la que circula por el motor. Constructivamente presenta la ventaja que solo se necesitan tres cables para la alimentación del motor.

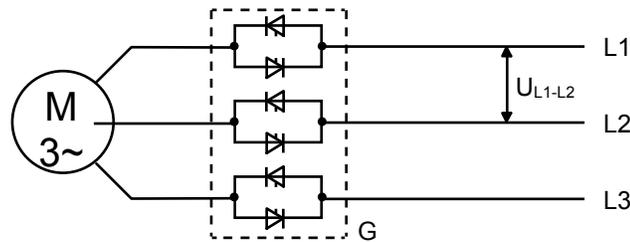


Figura 2.3 Esquema de Conexión en línea con el Motor.

- Conexión triangulo interna.

Se conecta el arrancador suave en triangulo interno. En este caso la corriente de operación del arrancador es solo el 58% de la corriente de operación del motor por lo que solo controla la corriente de fase, esto representa una gran ventaja ya que con este tipo de conexión el arrancador se puede utilizar en motores de mayor potencia que con los que seria posible con una conexión en línea con el motor. Para que pueda realizarse esta conexión tienen que estar disponibles los dos extremos de los tres devanados de fase del motor, además se necesitan de seis cables de alimentación al motor.

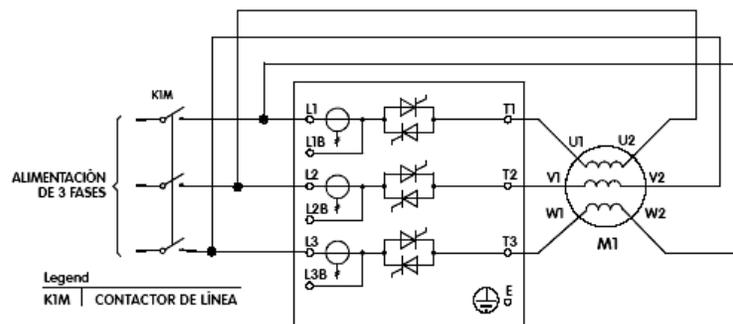


Figura 2.4 Esquema de Conexión triangulo interno.

Cuando se usa este tipo de conexión la tensión permanece conectada a uno de los extremos del bobinado del motor, incluso cuando el arrancador esta parado o en estado de fallo. Un contactor de línea o un interruptor de corte deben utilizarse para aislar totalmente al motor ante cualquier condición de fallo o de operacionalidad.

2.5 Modos de operación de un arrancador suave.

El modo de operación de un arrancador suave va a depender del tiempo que van a estar conectados los tiristores a la red:

- **Operación Continua.**

Los tiristores están operando de forma continua, es decir, que estos quedan conectados directamente a la red de alimentación aun después de haber arrancado el motor y alcanzado el régimen permanente.

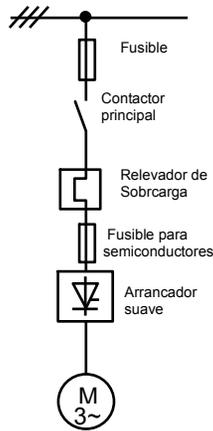


Figura 2.5 Operación continua del Arrancador Suave.

- **Operación con contactor de Bypass.**

Una vez que el motor ha arrancado y alcanzado su velocidad nominal los tiristores son desconectados de la red alimentación, el motor es alimentado a través de un contactor de bypass por lo que los tiristores dejan de conducir. Una de la ventajas de este tipo de conexión es que se previene el calentamiento de los tiristores por lo que se reducen las perdidas por calor.

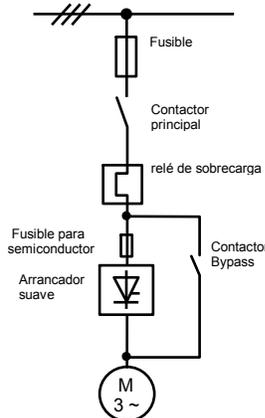


Figura 2.6 Operación con contactor de Bypass.

2.6 Tipos de arranques posibles con un Arrancador Suave de estados sólidos.

2.6.1 Arranque suave con rampa de tensión.

Este método de arranque es apto para la mayoría de las aplicaciones. El Arrancador estático eleva linealmente la tensión en los bornes del motor desde un valor inicial a determinar (tensión inicial) hasta la tensión total de la red. Los tiempos ajustables de aceleración se pueden seleccionar entre un rango de valores. La baja tensión del motor al comienzo del proceso de arranque produce un bajo par de arranque del motor y genera de este modo un proceso de aceleración suave. El valor inicial de tensión que debe ajustarse se determina por el par de arranque = par inicial del motor.

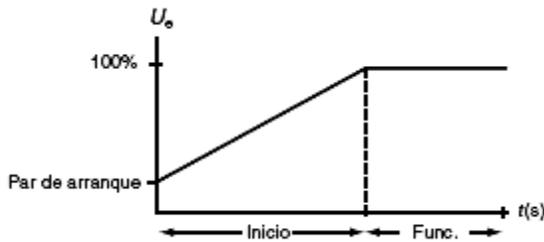


Figura 2.7 Nota: Se puede ajustar la tensión inicial de 25-90 % de la tensión nominal. El tiempo de duración de la rampa es de 1-60 seg.

2.6.2 Arranque con refuerzo de par seleccionable.

Se puede activar el refuerzo de par para superar la incidencia adicional de fricciones al comienzo del proceso de arranque. Con un breve impulso de corriente del 500% de la intensidad nominal del motor, el motor desarrolla un par inicial para superar el par de arranque. Este tipo de arranque se conoce también como intensificador de par pues permite obtener un elevado par proporcionando una elevada corriente. Una vez finalizada la función de refuerzo de par el arranque continúa según el modo de arranque seleccionado.



Figura 2.8 Nota: El tiempo de actividad del intensificador de par oscila entre 0.1-2 seg. El límite de corriente es de 300-500 % de la corriente nominal del motor.

2.6.3 Arranque suave con limitación de corriente.

Este modo de arranque se aplica cuando la intensidad máxima de salida debe limitarse (p.ej. con accionamientos de potencia superior y / o arranque pesado por grandes inercias). El arrancador suave regula entonces la tensión del motor de modo que no se supere el valor de intensidad de la aceleración. Este arranque controlará la intensidad hasta llegar al límite establecido y lo mantendrá hasta que se haya completado el arranque

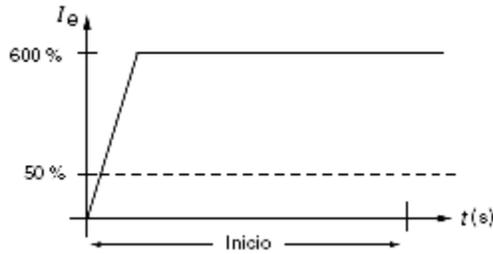


Figura 2.9 Nota: El límite de intensidad varía entre 150-600 % de la corriente nominal del motor. Se debe de determinar el tiempo de arranque previamente.

2.6.4 Arranque con doble rampa.

Este modo de arranque es apto para aplicaciones en las que se controlan cargas variables y por lo tanto el par de arranque se somete a esfuerzos variables. El arranque con doble rampa ofrece al usuario la opción de elegir entre dos perfiles de arranque con tiempos de rampa y par inicial que pueden ajustarse de forma independiente.

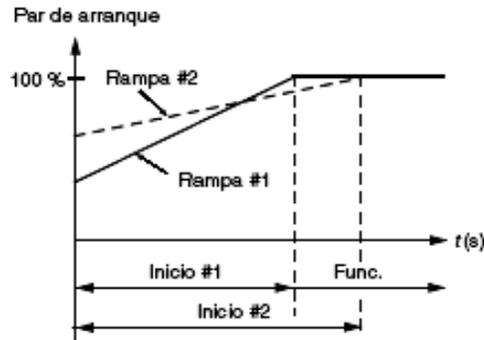


Figura 2.10 Nota: La tensión inicial de arranque es de 30-90 % de la tensión nominal del motor. El tiempo de la rampa de arranque es de 1-60 seg.

2.6.5 Arranque directo

Para revisar el motor en la puesta en marcha o para su uso como contactor electrónico, se puede activar el arranque directo. Para ello, la tensión aplicada en bornes se elevará en menos de 0.1 seg. al valor nominal de la tensión de la red. El accionamiento arrancará entonces como en el caso de conexión directa a la red.

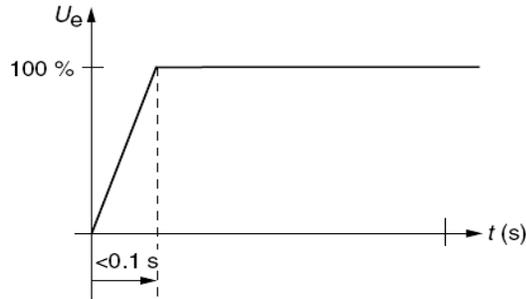


Figura 2.11 Nota: La tensión aplicada en bornes del motor se elevará en menos de 0.1 seg al valor nominal de la tensión de la red.

2.6.6 Arranque con control de par.

Esta función permite realizar un arranque según una curva de referencia de par predeterminada. Es posible seleccionar dos características de par diferente: lineal y cuadrático.

Éste es el método más adecuado para arrancar motores. A diferencia de los sistemas basados en la tensión y la intensidad, el arrancador supervisa la necesidad de par y permite el arranque con la intensidad mínima posible. La rampa de tensión no puede contener el par de arranque del motor, lo que tiene por resultado un pico de intensidad y rampas no lineales. En la rampa de intensidad no se produce intensidad máxima, sino una intensidad más alta durante un periodo de tiempo más largo durante el arranque en comparación con el control de par. El arranque de intensidad no produce rampas lineales. Las rampas lineales son muy importantes en muchas aplicaciones.

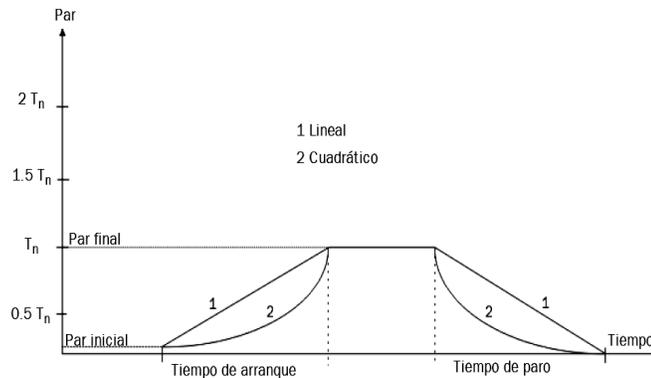


Figura 2.12 Nota: Se determina el par inicial y el par final de arranque dentro de un rango de 0 a 200 %.

2.7 Opciones de Frenado con un Arrancador Suave.

2.7.1 Parada Suave.

Esta función es apta para aplicaciones que exigen un tiempo prolongado hasta la parada total, ya que amplía el tiempo de desaceleración del motor mediante una disminución gradual de la potencia suministrada al mismo. La rampa de tensión de la parada suave se puede ajustar en un intervalo de tiempo. El motor se detiene cuando la tensión de salida del arrancador suave alcanza un valor en el que el par resistente es mayor que el par motor.

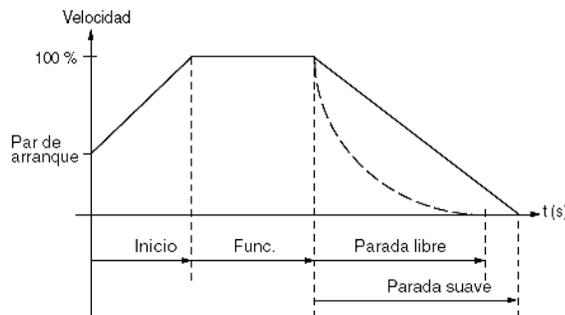


Figura 2.13 Nota: La rampa de tensión de paro se puede ajustar en un tiempo de 0-120 seg El escalón de tensión en el paro es de 100-400 % del voltaje nominal.

2.7.2 Frenado DC.

En comparación con la parada suave esta función permite una detención mas rápida del motor, especialmente cuando la rampa de parada no es suficiente y se requieren frenadas rápidas de maquinas con elevada inercia.

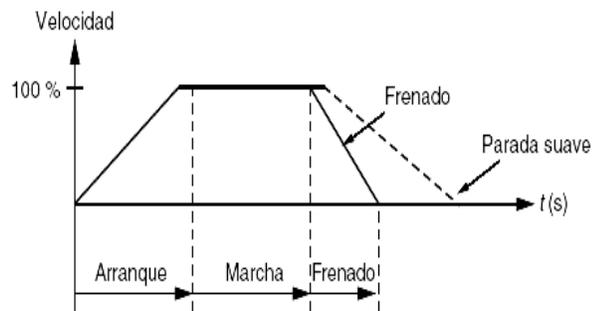


Figura 2.14 Nota: La instalación de elementos adicionales (contactores) para cumplir con esta función dependerá de la configuración interna del modulo de control del arrancador. La intensidad del frenado se ajusta de entre 0-400 % de la intensidad nominal y la duración del freno varia entre 0-120 seg. según el fabricante.

2.7.3 Velocidad lenta durante un tiempo seleccionado.

Es posible tener una velocidad lenta antes de un arranque y después de un paro. El tiempo que el motor girará en velocidad lenta es ajustable.

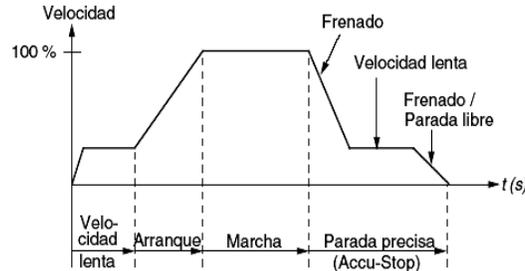


Figura 2.15 Nota: El tiempo de marcha en velocidad lenta es ajustable en dependencia del fabricante. La velocidad lenta puede tener un valor entre 7 % o 15 % de la velocidad nominal.

La velocidad lenta en el arranque se usa en aplicaciones que exigen un posicionamiento controlado dependiendo del proceso productivo, por ejemplo la colocación de una pieza, después que transcurre el tiempo establecido (velocidad lenta) el motor se acelerara hasta alcanzar la velocidad nominal.

Ahora bien, si el proceso amerita que durante la marcha del motor este sea frenado de una manera controlada, por ejemplo, si se tiene una elevada inercia de la carga, es posible frenarlo a través de un freno DC hasta que alcance la velocidad lenta predeterminada; el motor avanzará a esta velocidad hasta que reciba una orden de parada.

2.8 Protecciones internas en el Arrancador Suave.

El arrancador Suave esta provisto de un sinnúmero de protecciones que actúan ante cualquier disturbio o falla tanto en el motor, la carga y en el mismo arrancador. Dentro de las funciones de protección tenemos:

- ✦ Fallo de una fase de alimentación.
- ✦ Protección del motor contra sobrecarga.
- ✦ Arrancador sobrecalentado.
- ✦ Rotor bloqueado.
- ✦ Desequilibrio de Fases.
- ✦ Protección contra sobretensión.
- ✦ Protección contra subtensión.
- ✦ Limitación de los arranques por hora.
- ✦ Tiristor cortocircuitado.
- ✦ Tiristor abierto.
- ✦ Terminal del motor abierto.
- ✦ Control de la inversión de fase.
- ✦ Protección de subcarga (control del factor de potencia).
- ✦ Frecuencia de la red.
- ✦ Arranque retardado.
- ✦ Limitador de par máximo.
- ✦ Limitador de par mínimo.

2.8.1 Fallo de una fase de alimentación.

Esta función detecta la ausencia de una fase de la red de alimentación. Si el tiempo que dura el fallo es mayor a un tiempo determinado se emitirá una alarma y si el motor esta en funcionamiento se producirá un paro directo.

Nota: Un fallo de menos de 100 ms es ignorado si el tiempo de duración del fallo es entre 100 ms y 2 seg, el funcionamiento se detiene temporalmente y se produce un nuevo arranque suave si el fallo desaparece antes de 2 seg.

2.8.2 Protección contra sobrecarga.

Protege al motor, al arrancador y al cableado contra las sobre intensidades y el sobrecalentamiento que estas ocasionan, lo que podrá detectar una ligera sobrecarga durante largo tiempo como varias sobrecargas de breve duración.

Nota: La protección de sobrecargas del arrancador es programable.

2.8.3 Arrancador sobrecalentado.

Esta es una autoprotección del arrancador para proteger los seis tiristores del circuito de potencia. Esta falta ocurre debido a un aumento de la temperatura ya sea por una sobre corriente o por una deficiencia en el sistema de ventilación, en cuyo caso se emitirá una alarma produciéndose el para directo del motor y solo se podrá arrancar nuevamente hasta haberse enfriado el circuito de potencia.

2.8.4 Protección contra Rotor bloqueado.

En situación de bloqueo, los motores pueden desarrollar elevados pares de carga y pueden generar altísimas corrientes de bloqueo, lo cual conlleva a daños térmicos o mecánicos del motor o de la maquina. Dicha protección esta presente tanto durante el arranque como después del mismo.

Nota: Con la protección de bloqueo, el usuario puede ajustar durante el arranque un tiempo de retardo de 0...10 seg, que se sumara al tiempo de arranque, esto con el fin de evitar desconexiones innecesarias.

2.8.5 Desequilibrio de Fases.

Nivela las variaciones de tensión mediante un ajuste automático de la salida de tensión para mantener en equilibrio las corrientes trifásicas absorbidas por el motor. El arrancador permite introducir un porcentaje de la tensión nominal del motor, el desequilibrio máximo entre las tres fases de entrada se compara con el valor seleccionado y en el caso de ser mayor se produce el disparo.

Nota: Esta protección se le puede dar un tiempo de retardo de hasta 60 seg.

2.8.6 Protección contra sobretensión y subtensión.

La primera desconecta al motor cuando se detecte un aumento o disminución brusca de la tensión de entrada. Se introduce el límite en porcentaje de la tensión nominal del motor, la tensión máxima o mínima de las tres fases se compara con este valor y en caso de ser mayor o menor se producirá una alarma y una orden de disparo.

Nota: Para evitar desconexiones innecesarias, se puede programar también un tiempo de retardo del disparo por sobretensión y subtensión entre 0 y 99 seg.

2.8.7 Limitación de los arranques por hora.

Esta protección se encarga de contabilizar la cantidad de arranques por hora que el usuario asigne dependiendo tanto del proceso productivo como del mismo motor. Una vez que se sobrepasa la cantidad de arranque por hora establecida se emite una alarma y el arrancador queda prácticamente fuera de servicio mientras dura la hora.

2.8.8 Tiristor cortocircuitado o abierto.

Esta protección permite una minuciosa vigilancia del circuito de potencia. En caso de darse; ocurre una parada directa en línea ya que puede encontrarse uno o más tiristores dañados y solo podrá arrancarse en caso de emergencia en arranque directo a través del contactor de bypass, lo más probable es que se tenga que sustituir el tiristor dañado si el fabricante ofrece esta opción. Esta falla se produce debido a una conexión incorrecta del motor, devanado abierto, cable o contacto desconectado y esta emitirá una señal de desconexión.

2.8.9 Control contra inversión de fases.

Las secuencias de fases se pueden definir en relación con el sentido de giro del motor. Utilizando el control de la secuencia de fases, si se produce una variación en la alimentación de la red el sistema emite un mensaje de error de secuencia.

2.8.10 Protección de subcarga (control del factor de potencia).

Durante el funcionamiento el arrancador suave supervisa continuamente la carga en el motor en especial cuando está trabajando sin carga o está parcialmente cargado. En este caso el arrancador reduce la tensión del motor por lo que el consumo de potencia activa disminuye.

2.8.11 Frecuencia de la red.

Esta protección monitorea de forma constante que la frecuencia de alimentación de la red esté dentro de un rango de tolerancia prefijado.

2.8.12 Arranque retardado.

Este fallo se presenta cuando no se alcanza la velocidad nominal en el límite de intensidad y tiempo de arranque ajustado. Cuando se ha expirado el tiempo de arranque se usa una rampa de tiempo máxima para alcanzar la plena tensión, y se omite el control de la intensidad.

2.8.13 Limitador de par máximo y Limitador de par mínimo.

Esta permite la protección de las cargas accionadas por un motor, la cual permite seleccionar un par máximo y mínimo en porcentaje con la relación al par nominal del motor. Si la potencia en el eje sobrepasa el límite seleccionado se producirá el disparo.

Nota: Para evitar disparos no deseados se puede dar un tiempo de retardo en el arranque de hasta 150 seg.

2.9 Programación del Arrancador Suave.

Todos los ajustes que permite realizar un arrancador suave pueden ser realizados a través de parámetros. A cada parámetro se le puede asignar un valor de entre las posibles opciones.

Los diferentes valores que se le asignen a los parámetros definirán la programación del arrancador suave o bien el valor de una variable como corriente o tensión. La programación puede realizarse a través del teclado del propio arrancador o por medio de un dispositivo conectado al puerto de comunicación serie.

Dentro de los parámetros que se pueden introducir en el arrancador suave tenemos:

- Corriente nominal del motor.
- Tensión nominal del motor
- Limite de corriente de arranque.
- Rampa de corriente, corriente inicial.
- Rampa de corriente, tiempo de Rampa.
- Capacidad térmica del motor.
- Modo Local / Remoto.
- Refuerzo de Par.
- Comunicación Serie, velocidad.
- Tolerancia de Frecuencia.

Para el ajuste de las protecciones se pueden programar los siguientes parámetros:

- Sensibilidad del desequilibrio de fases.
- Punto de disparo de Sobrecarga Instantánea.
- Protección de rotación de Fases.
- Punto de disparo de baja corriente.

Para la opción de Freno DC se puede programar:

- Tiempo de Freno.
- Par de Frenado.
- Perfil de la Parada Suave.

2.10 Partes auxiliares de un Arrancador Suave.

- ⊕ Pantalla LCD
- ⊕ Teclado
- ⊕ Puerto de comunicación serie.

2.10.1 Pantalla LCD. (Liquid Cristal Display)

El arrancador suave tiene además numerosas funciones de visualización a través de una pantalla LCD en la que se muestran diferentes mediciones de variables, evitando la conexión de aparatos de medición y sus respectivos cableados, así como la representación de los diferentes parámetros en un texto informativo de fácil comprensión que permiten la programación del arrancador.

Dentro de las variables medidas que pueden ser representadas en el LCD tenemos:

- ⊕ Corriente trifásica y por fase (RMS).
- ⊕ Tensión trifásica y por fase (RMS).
- ⊕ Potencia en el eje del motor (kW o HP).
- ⊕ Par en el eje del motor (Nm).
- ⊕ Factor de potencia.
- ⊕ Consumo de potencia (kW-H.)
- ⊕ Tiempo transcurrido en días (mientras el arrancador está en funcionamiento).
- ⊕ Numero de arranques en el día.

2.10.2 El Teclado.

Consta de una serie de teclas de membrana y es el medio a través del cual se introducen los parámetros, facilitando la programación del arrancador, también mediante el teclado se puede poner en marcha y parar el motor. Las señales de mando (introducidas por el usuario), gracias al teclado se pueden visualizar en el display.

2.10.3 Puerto de comunicación serie.

Permite la conexión de un módulo de interfase de comunicación que facilita la interacción Operario-Arrancador Suave, para la operación y programación del mismo. Entre otras funciones se puede realizar un control de funcionamiento, consulta del estado y datos de operación del arrancador, lectura y escritura del conjunto de parámetros, visualización de fallos y coordinación de protecciones.

Además este puerto permite la conexión de módulos de interfases complejas tales como:

- ⊕ Controlador lógico programable.
- ⊕ Monitoreo vía PC (personal computer).

2.11 Tipos de control de Arranque Suave.

El término “arranque suave” se aplica a una gama de tecnologías. Estas tecnologías están relacionadas con el arranque de motores, pero existen diferencias significativas en los métodos usados y en las ventajas que ofrecen. Los arrancadores suaves pueden ser clasificados en las siguientes categorías;

- Controladores de Par
- Controladores de tensión de lazo abierto
- Controladores de tensión de lazo cerrado
- Controladores de corriente de lazo cerrado

Los controladores de par tan sólo proporcionan una reducción en el par de arranque, dependiendo del diseño pueden controlar una o dos fases solamente. Por consiguiente no existe control sobre la corriente de arranque, control que existe en modelos de arrancadores suaves más avanzados.

Los controladores de tensión de lazo abierto controlan las tres fases y ofrecen los beneficios tanto eléctrico como mecánico normalmente asociados al arranque suave. Estos sistemas controlan la tensión aplicada al motor de una manera preestablecida y no recibe realimentación de la corriente de arranque.

Se tiene control sobre el rendimiento del arranque a través del tipo de programación que establezca, como por ejemplo, Tensión Inicial, Tiempo de Rampa y Tiempo de Rampa Dual. Normalmente también está disponible la parada suave que permite extender el tiempo de parada del motor. Los controladores de tensión de lazo abierto necesitan una protección de sobrecarga de motor y, si es necesario con un contactor de línea.

Los controladores de voltaje de lazo cerrado son una variante del sistema de lazo abierto. Reciben realimentación de la corriente de arranque del motor y la utilizan para parar la rampa de tensión cuando se alcanza un límite de corriente de arranque programado por el usuario. La programación y ajustes son los mismos que para los controladores tensión de lazo abierto con la adición de un límite de corriente.

La información sobre la corriente del motor se utiliza también a menudo para proporcionar un número importante de funciones de protección basadas en la corriente. Algunas de estas funciones son, sobrecarga del motor, desequilibrio de fase, baja corriente etc. Estos sistemas son arrancadores de motor completos y proporcionan tanto control de arranque/parada como protección del motor.

El control de corriente de lazo cerrado es la forma más avanzada de arranque suave. A diferencia de los sistemas basados en tensión la tecnología de corriente de lazo cerrado utiliza la corriente como referencia primaria. Las ventajas de este enfoque es un control preciso de la corriente de arranque y de fácil ajuste. Muchos de los ajustes de usuario que necesitan los sistemas de tensión de lazo cerrado se pueden hacer automáticamente mediante los sistemas basados en corriente.

2.12 Clasificación de los rangos del Arrancador Suave.

El rango máximo de un arrancador suave se calcula para que la temperatura interior de los módulos de potencia (SCRs) no exceda de 125 °C.

Cuatro parámetros de funcionamiento afectan a la temperatura interna del tiristor:

- Corriente del Arranque.
- Duración del Arranque.
- Número de Arranques por hora.
- Tiempo que está Desconectado.

El rango total de un modelo de arranque suave determinado tiene que tener en cuenta todos estos parámetros. Un rango de corriente por sí solo no es suficiente para describir la capacidad de un arrancador suave.

El IEC947-4-2 detalla las categorías de utilización AC53 para describir los rangos de un arrancador suave.

Hay dos códigos de AC53:

1. AC53a: para arrancadores suaves que no utilizan contactores de bypass. Por ejemplo, el código que se presenta a continuación, describe un arrancador suave capaz de suministrar una corriente de marcha de 299 A y una corriente de arranque de 4.0 la corriente a plena carga durante 30 segundos, 10 arranques por hora donde el motor está en marcha durante el 50 % de cada ciclo de funcionamiento. (Ciclo de funcionamiento = 60 minutos / arranques por hora).

299A: AC53a 4.0-30:50-10

- *Rango de Corriente del Arrancador (299A):* Rango de corriente a plena carga máximo del motor que se va a conectar al arrancador suave dados los parámetros de funcionamiento especificados por el resto de datos en el código AC53a.
 - *Corriente de Arranque (4.0):* La corriente de arranque máxima que será aplicada durante el arranque.
 - *Duración del Arranque (30 seg.):* El tiempo que tarda el motor en acelerar.
 - *Ciclo Útil en carga (50 %):* El porcentaje de cada ciclo de funcionamiento en el que el arrancador suave estará en marcha.
 - *Arranques por hora (10):* El número de ciclos de funcionamiento por hora.
2. AC53b: para arrancadores suaves que utilizan contactores de bypass.

3. Aplicaciones del Arrancador Suave en la Industria Nicaragüense.

3.1 Introducción.

Dentro de la industria Nicaragüense, la implementación de arrancadores suaves no está totalmente difundida, aunque las grandes industrias como los ingenios azucareros de occidente, si implementan esta tecnología pues requieren que sus procesos y equipos cada vez sean mas eficientes para ser competitivos tanto en el mercado nacional como internacional, al mismo tiempo garantizar un uso eficiente y racional de la energía eléctrica.

Otras industrias del país sometidas al pago por pico de demanda máxima por parte de la empresa distribuidora (Unión Fenosa), se ven obligadas a la búsqueda de soluciones que eviten estas sanciones, siendo los Arrancadores Suaves una gran alternativa.

Las Industrias dedicadas a la generación de energía eléctrica se ven obligadas a implementar arrancadores suaves para preservar la vida útil de sus equipos auxiliares y poder generar con el máximo aprovechamiento de los mismos.

A continuación se abordarán las diferentes industrias visitadas en el país que tienen implementados Arrancadores Suaves en algunos equipos de sus procesos productivos.

3.2 Ingenio San Antonio (ISA).



Figura 3.1 Ingenio San Antonio, Chichigalpa.

Dentro del sector industrial nacional, uno de los grandes consumidores de energía eléctrica son los denominados ingenios azucareros debido a que en sus procesos intervienen un gran número de maquinaria y equipos. Siendo uno de ellos el ingenio San Antonio, que por su capacidad de producción es el más importante del país^[4].

El Ingenio San Antonio fué fundado en 1890 y está localizado a 5 Km. de la ciudad de Chichigalpa, municipio del departamento de Chinandega. El periodo de producción de azúcar (zafra) del ingenio es de 6 meses por año.

3.2.1 Reseña Histórica de la Cogeneración en el Ingenio San Antonio.

El Proyecto Cogeneración del Ingenio San Antonio surge por la necesidad de integrar a la empresa al Mercado Internacional con costos operativos competitivos, desde fechas anteriores se había planteado que en algún momento se tenía que diversificar los procesos para mejorar internamente y así poder mantener una estabilidad económica que permita elaborar proyectos a largo plazo, uno de estos proyectos es la electrificación de todos los elementos de potencia que tenían maquinas ineficientes y de altos costos operativos.

En 1997 se dio inicio al proyecto de Cogeneración, esto consistía en su primera etapa en la adquisición de un Turbo-Grupo Condensin de 19.3 mW, una Torre de Enfriamiento, una Caldera de alta presión (600 psi) y vapor sobrecalentado (440 grados centígrados), un laboratorio de Tratamiento de Aguas, una subestación eléctrica, un transformador 13.8 kV – 69 kV, una línea de transmisión de alta tensión de 6 Km. de longitud, un desareador o desgasificador para agua de alimento de calderas y diferentes equipos auxiliares como bombas, calentadores, etc. Esta gran inversión fue necesaria para poder dar inicio a la generación de electricidad de autoconsumo, lo cual representaba altos costos en la cancelación de la tarifa eléctrica.

En una segunda etapa se modificó una segunda caldera, llamada caldera numero 10 esto consistió en elevar su presión de trabajo actual de 250 psi a 600 psi, ya que esta caldera fue explotada durante 15 años a 250 psi siendo la caldera de 1000 psi inicialmente, este cambio ayudó a incrementar la generación de 15 mW. que tenían en la primera etapa hasta 19.3 mW.

En una tercera etapa se concertó la adquisición de un nuevo Turbo- Generador a contrapresión de 200 mW. y una tercera caldera de bagazo de alta eficiencia con 600 psi, 456 grados centígrados y 265,000 Lb/Hr y se electrificó toda la transmisión de potencia de un Tandem de molinos.

En una cuarta etapa se adquirió un tercer Turbo-Generador a contrapresión de 20 mW. y se electrificó el segundo Tandem de molinos quedando así electrificado en su totalidad, cabe señalar que durante estos cambios la carga eléctrica del Ingenio se incrementó de 6.7 mW-H en tiempo de zafra hasta una carga anual de 17 mW-H, pero a su vez esto ha permitido incrementar las ventas de energía paulatinamente hasta llegar a 28 mW-H hacia la red nacional, además ha existido una reducción considerable en los costos operativos y de mantenimiento de todos los equipos de generación de potencia^[4].

Actualmente la planta de Cogeneración consta de:

- Tres unidades, una de 20 mW y dos de 19.3 mW, las cuales generan en 13.8 kV
- Transformador 13.8 kV – 69 kV, 53 mVA.

Entregando al sistema una potencia de 11 mW a través de una línea de transmisión de alta tensión de 6 Km. La cogeneración utiliza como combustible para producir vapor, el vagazo de la caña de azúcar en tiempo de zafra y en tiempo de invierno se utiliza madera de eucalipto. Se pican más o menos 40,000 toneladas de madera para generar alrededor de 25,000 mW-H.

3.2.2 Beneficios de la Cogeneración en Nicaragua.

La cogeneración tiene implícitos beneficios a nivel nacional específicamente en el sector industrial, desde este punto de vista se refleja en un mejor aprovechamiento de la energía primaria ya que el vapor proveniente de la turbina a contra presión se utiliza para coser las mieles y jugos extraídos de la caña de azúcar, ahorro en petróleo y biomasa al hacer un uso más eficiente de los energéticos. Así mismo, se reducen las emisiones contaminantes al medio ambiente por quemar menos combustible.

Los beneficios en el sector industrial son la reducción de la facturación energética en los costos de producción y como consecuencia aumenta la competitividad de la empresa; así como, la autosuficiencia, continuidad y calidad del suministro de energía eléctrica, con lo que se obtiene confiabilidad en el proceso^[4].

3.2.3 Ventajas de la Cogeneración en el Ingenio San Antonio:

- Una central de cogeneración representa, de hecho, disponer de una segunda fuente de energía eléctrica, además de la red, de alta confiabilidad.
- Contribuye a la estabilización de la tensión en la red (dado que mejora el equilibrio al reducir la intensidad eléctrica circulante desde las subestaciones de distribución hasta los consumidores) y en consecuencia, reduce las pérdidas de energía en la red.
- Las actuales tecnologías de control permiten asegurar una óptima calidad de la energía eléctrica generada, tanto en tensión como en frecuencia, superando en muchos casos a la de la propia red, inevitablemente influenciadas por armónicas y desequilibrios de carga originadas por industrias vecinas.
- Operación y Mantenimiento.

Existe un mantenimiento muy especializado, que es el que debe realizarse en determinadas áreas de los equipos principales: turbina de gas, turbina de vapor y motores reciprocantes. Este tipo de mantenimiento debe ser contratado (en muchas ocasiones al mismo fabricante del equipo), el cual tiene un costo muy elevado.

El resto de equipos (calderas, equipos eléctricos, etc.), no requieren de atenciones especiales, sus costos de operación son bajos. La planta de cogeneración dispone de modernos sistemas de control y seguridad que impiden la aparición de accidentes graves. Estas plantas de cogeneración adecuadamente mantenidas pueden operar entre 20 y 30 años.

En general una planta de cogeneración producirá una energía que será siempre más económica que la obtenida de la red eléctrica. La razón de ello está en que su consumo específico será siempre inferior al de una planta de energía convencional que no pueda sacar provecho de sus afluentes térmicos (es decir, la generada por las grandes centrales termoeléctricas). El mayor o menor ahorro dependerá, en cualquier caso, de políticas de subsidio a las tarifas de la energía eléctrica que pueda tomar el Estado en determinadas circunstancias.

La cogeneración reduce la emisión de contaminantes, debido principalmente a que es menor la cantidad de combustible que consume para producir la misma cantidad de energía útil. Además los sistemas de cogeneración utilizan tecnologías más avanzadas y combustibles más limpios como el gas natural.

3.2.4 Utilización de Arrancadores Suaves en la planta de Cogeneración del Ingenio San Antonio. (ISA)

En ISA hay una gran cantidad de motores de inducción trifásicos con rotor jaula de ardilla que utilizan arrancadores suaves los cuales tienen acoplados diferentes cargas tales como:

- Bombas de alimentación.
- Ventiladores Inducidos.
- Ventiladores Tiro Forzado.

La bomba de agua de alimentación es un equipo muy importante dentro de la generación. Su función es suministrar agua hacia la caldera.

Este equipo tiene un arrancador suave por las siguientes razones:

- Disminuir la corriente de arranque; pues a pesar que en ISA se auto suministra su demanda de energía eléctrica, al momento de empezar ha generar necesitan arrancar sus equipos. En ese instante le compran energía al sistema, y se paga en base al pico de corriente, el cual es muy alto.
- Valorar en el momento de arranque del equipo, que este no esté mal armado. Pues uno de los problemas frecuentes es el alineamiento entre el motor y bomba, lo que ocasiona desgaste prematuro del eje, daños en los cojinetes y mayor consumo de energía hasta de un 5% sobre el consumo nominal.



Figura 3.2 Motor bomba agua de alimentación de la caldera.

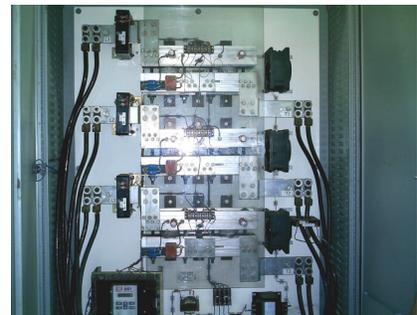


Figura 3.3 Arrancador suave de la bomba de agua de Alimentación.



Tipo de carga: Bomba agua de alimentación a la caldera.

Marca del Arrancador Suave: S-TRAC DST SUPER STAR.

Datos de Placa del Motor.

Potencia: 500 CV (493 HP).	Corriente: 530 A
Voltaje: 460 V	RPM: 3572.
Frecuencia: 60 Hz	FP: 0.9

Figura 3.4 Motor del Ventilador Inducido.

La función de los Ventiladores Inducidos es sacar los gases producto de la combustión en la caldera. Aquí se necesitan arrancadores para que la carga vaya tomando la velocidad del motor, de manera lenta y progresiva, además que se tratan de equipos muy grandes con un alto pico de corriente.



Tipo de carga: Ventilador inducido.

Marca del Arrancador Suave: S-TRAC DST SUPER STAR.

Datos de placa del motor.

Potencia: 150 HP	Corriente: 150 A
Voltaje: 460 V	RPM: 3572.

Figura 3.5 Arrancador suave del Ventilador Inducido. Ingenio San Antonio.

Los Ventiladores Tiro Forzado, alimentan aire a la caldera para mantener la combustión, donde también es de suma importancia el uso de arrancadores suaves.



Tipo de carga: Ventilador tiro forzado.

Marca del Arrancador: S-TRAC DST SUPER STAR.

Datos de placa del motor.

Potencia: 150 HP	Corriente: 150 A
Voltaje: 460 V	RPM: 3572.

Figura 3.6 Arrancador Suave del Ventilador Tiro Forzado.

Cuando el par de arranque es muy alto, en los ejes metálicos, por muy bueno que sea, se va creando internamente un fenómeno conocido como “fatiga”, el cual es la rotura del metal de la parte interna hacia la parte externa, es algo que no es visible, no se aprecia.

Este fenómeno se da hasta en ejes metálicos gruesos que superan las 4 pulg. de diámetro, los cuales se quiebran pues cada vez que se arranca el motor de manera directa el alto par de arranque va creando el fenómeno de la fatiga, hasta que llega un momento en que se rompe el metal.

Por ende se necesitan arrancadores suaves sobre todo cuando se trabaja con equipos muy costosos (bombas) y pesados de moverlos como son los ventiladores.

La ventaja económica del arrancador suave se refleja en la reducción de costos mecánicos, si bien su costo inicial es alto, esto se compensa rápidamente, por ejemplo, una ruptura de un eje de una bomba de alimentación de agua cuesta \$ 7000, y un arrancador suave puede evitar este daño con el consecuente ahorro económico.

3.3 Ingenio Monte Rosa.



Figura 3.7 Ingenio Monte Rosa.

3.3.1 Generalidades del Ingenio Monte Rosa.

El Ingenio Monte Rosa está ubicado en el kilómetro 148 carretera El Viejo - Potosí, Municipio de El Viejo, Chinandega, Nicaragua, América central. Monte Rosa S.A. es un Ingenio azucarero que pertenece al sólido grupo Pantaleón Sugar Holding.

El Ingenio Monte Rosa produce anualmente 161,388 toneladas métricas de azúcar por zafra para la exportación y el consumo interno de Nicaragua con planes de aumentar la producción hasta 171,675 toneladas métricas para la zafra 2004/2005. Para la zafra 2005/2006 se planea producir 1.8 millones de toneladas de azúcar, supliendo así el bagazo necesario para el proyecto de expansión energética. Durante los dos años anteriores (empezando en la zafra 2001/2002), Monte Rosa ha entrado en el Mercado eléctrico como agente de reserva en el sistema.

El combustible utilizado en el proyecto de generación de energía eléctrica es exclusivamente bagazo de caña de azúcar. La última vez que se utilizó bunker para la producción de energía fue en la zafra 1999-2000, cuando Monte Rosa utilizó 15,271 galones. Monte Rosa no tiene un contrato de compra de energía, sin embargo, comercializa la energía en el Mercado de reserva o de ocasión.

3.3.2 Descripción técnica del proyecto de Cogeneración en el Ingenio Monte Rosa.

Actualmente la capacidad total instalada de energía de Monte Rosa es de 26 mW, pero solamente se están usando 18 mW. dejando 8 mW. disponibles en caso de emergencia. Esta potencia supe las necesidades de energía propia de la empresa y el excedente es vendido a la red nacional a través del mercado de ocasión. La generación eléctrica se produce únicamente durante los días de zafra azucarera (180 días), mientras exista la disponibilidad del bagazo. Este excedente de generación ha sido posible a partir de la ampliación en el área de calderas y turbogeneradores con una producción adicional promedio de 94,000 mW-H en el período 2001-2003 y una ampliación para el 2008 de 120,000 mW-H, constituyéndose como una de las principales áreas estratégicas de inversión.

Este proyecto está compuesto de dos fases. La primera expansión se realizó entre las zafras 2001-2002 y 2003-2004. Esta expansión incluyó la instalación de un turbogenerador de escape de 15 mW. y la instalación de una caldera de alta presión. En este momento es que Monte Rosa comienza a vender energía a la red.

Las principales inversiones de esta fase fueron:

- Instalación de una caldera de alta presión 900 psi (62 bar.) marca Caldema
- Instalación de un turbogenerador de escape de 15 mW.
- Montaje de una subestación.

La segunda fase o segunda expansión consiste en el montaje de una nueva caldera de alta presión 900 psi (62 bar.) en la cual se quemará bagazo de caña de azúcar para generar vapor. Este vapor va directamente a los turbogeneradores para generar energía a un voltaje de 13.8 kV. El voltaje será incrementado a 69 kV en la subestación, y será conducida hacia otra subestación ubicada en El Viejo.

Las principales inversiones de esta 2da fase fueron:

- Instalación de una caldera de alta presión 900psi (62 bar.) marca HPB
- Instalación de 3 nuevos turbogeneradores (1 turbogenerador de condensación de 15 mW. y 2 turbogeneradores de escape de 20 mW. cada uno.
- Instalación de una torre de enfriamiento
- Instalación de 2 nuevos transformadores y equipos para la subestación instalada en la primera fase.

Estas nuevas inversiones se distribuirán en un período de 5 años, a medida que se vayan instalando los turbogeneradores nuevos y los turbogeneradores antiguos vayan saliendo del sistema. A continuación se presenta la forma y cronograma del proyecto:

- Zafra 2004-2005 – El antiguo turbogenerador de escape de 15 mW será operado solo a 5 mW. y dos nuevos turbogeneradores serán incluidos para una ampliación de capacidad instalada neta de 39 mW; 20 mW de un nuevo turbogenerador de escape, 14 mW. de un nuevo turbogenerador de condensación, y 5 mW. de el antiguo turbogenerador de escape de 15 mW.

- Zafra 2005 – 2006 – El antiguo turbogenerador de escape de 15 mW de la zafra 2004 – 2005 será retirado, y un nuevo turbogenerador de escape aumentará la capacidad instalada neta a 46.4 mW. A este momento la generación de 15.5 mW vendrán del turbogenerador condensin; y 15.45 mW. vendrán de cada uno de los dos turbogeneradores de escape.
- Zafra 2006 – 2007 – La operación será igual a la zafra 2005 – 2006.
- Zafra 2007 – 2008 – Mejoras en la eficiencia energética incrementada.

3.3.3 La Cogeneración como una Tecnología para el Desarrollo.

La Cogeneración por combustión de bagazo es aplicada en la industria azucarera para la producción de vapor y energía necesaria para los ingenios. La nueva tecnología es alta eficiencia industrial en la combustión de bagazo para producción de vapor que será enviado a las turbinas para producir electricidad. Monte Rosa utiliza el ciclo de vapor de Ranking para cogenerar electricidad.

Monte Rosa es un ingenio azucarero que produce electricidad con su propio bagazo. Esta estrategia está siendo implementada para reducir la cantidad de bagazo producida por la extracción de jugos de caña y así mismo utilizarlo para la producción de energía. Con esto, Monte Rosa ha ganado el merito necesario para generar excedentes de energía para poder ser comercializados en el mercado de ocasión.

Considerando la expansión del ingenio, Monte Rosa ha desarrollado el proyecto de ampliación energética sustentado en la disponibilidad de suficiente bagazo para la producción de energía; tanto para consumo propio como para comercialización. Sin embargo, mejorar el retorno financiero de esta iniciativa es requerido para la implementación del proyecto.

Es por eso que el financiamiento a través del carbono juega un papel muy importante en el Plan de Negocios. La decisión de invertir en la ampliación de la generación eléctrica de Monte Rosa fue tomada en 1999 con la primera expansión, así mismo los potenciales créditos de carbono que podrían generarse fueron considerados como parte de la inversión al momento de tomar la decisión. La decisión sobre la segunda expansión fue tomada a inicios del año 2003 y nuevamente los potenciales créditos de carbono fueron considerados como parte de la inversión y la decisión. La construcción de la segunda expansión empezó en Junio de 2004.

La última vez que Monte Rosa compró energía fue durante la zafra 1999- 2000 cuando se compraron 79,200 kW-H. Monte Rosa utiliza el mercado de ocasión para vender o comprar energía, de tal manera que cuando hay problemas de cogeneración en el ingenio puede comprar a otros agentes, sin embargo esto sucede esporádicamente. Las mejoras técnicas en el proceso de Monte Rosa han traído una reducción importante de compra a la red.

Actualmente la generación de Monte Rosa es de:

- Generación a 900 lbs (alta presión) 56.5 mW. instalados (dos generadores de 20 mW y uno de 16.5 mW).
- Generación a 400 lbs (media presión) 8 mW. (dos generadores de 4 mW. cada uno).
- Generación a 200 lbs. Un generador de 3 mW.

El consumo total del ingenio oscila entre 11-12 mW. Se vende al sistema entre 27 y 28 mW. diarios durante los seis meses de zafra.

3.3.4 Uso de arrancadores suaves en el Ingenio Monte Rosa.

Se utilizan arrancadores suaves en la planta de cogeneración del ingenio Monte Rosa en los siguientes equipos:

- ***Bomba de Alimentación de agua, se utilizan para suministrar agua a la caldera.***



Tipo de carga: Bomba de alimentación de agua a la caldera.

Marca: BALDOR

Datos de placa de motor.

Potencia: 750 HP **Corriente Nominal:** 810A
Voltaje: 460 V **RPM:** 3588
Fp: 0.89

Figura 3.8 Arrancador Suave de la bomba de Alimentación de agua. Ingenio Monte Rosa.

Este arrancador suave esta básicamente de respaldo. Pues siempre se controla la bomba con un Variador de frecuencia y solo es puesto en marcha a través del arrancador suave en caso que este falle. Si se presenta una situación extrema que falle tanto el variador como el arrancador suave, se dispone de otra bomba de alimentación que arranca en directo, lo que provoca el disparo aleatorio de otros equipos, tanto variadores, arrancadores suaves y protecciones. Esta tercera alternativa involucra un aspecto económico, ya que no se puede tener instalado un arrancador suave en un equipo que está únicamente de emergencia y probablemente se use en casos remotos.

Debido a que la caldera es totalmente automatizada y su generación de vapor dependen de muchos parámetros gobernados por un controlador lógico programable (PLC), la primera opción para accionar la bomba es el variador de frecuencia ya que este actúa según el monitoreo que realiza el PLC, con esto se tiene un mejor control sobre la caldera, diferente con el arrancador suave, pues con este se tienen que realizar operaciones mecánicas (regulación del flujo de agua, de aire y de gases) para ejercer el mismo control. Este tipo de conexión se puede ver en la figura 3.9.

Se realizó una prueba de campo, en la que se puso en marcha la bomba a través del arrancador suave midiendo la corriente de arranque del motor en cada fase obteniendo los siguientes valores:

- $I_{arranque\ 1} = 3483\ Amp.$
- $I_{arranque\ 2} = 3648\ Amp.$
- $I_{arranque\ 3} = 3557\ Amp.$

En este caso se comprobó que el arrancador suave reduce la corriente de arranque del motor hasta aproximadamente 4 veces la corriente nominal del motor (810 A), al mismo tiempo se alcanza una mayor seguridad en el momento del arranque.

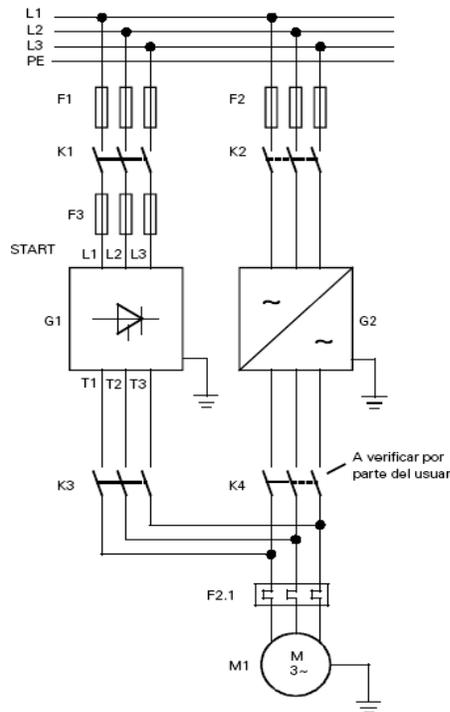


Figura 3.9 Esquema de Conexión de un variador de frecuencia y un arrancador suave como respaldo, para la bomba de alimentación de agua a la caldera, en la Planta de Cogeneración del Ingenio Monte Rosa.

▪ **Ventilador Inducido**



Tipo de carga: Ventilador inducido.
Marca del arrancador: BALDOR.

Datos de placa del motor.

Potencia: 400 CV (393 HP) **Corriente:** 448 A
Voltaje: 480 V **RPM:** 891.
Fp: 0.82

Figura 3.10 Motor que acciona el Ventilador Inducido.

Este equipo está integrado a la planta de cogeneración y su función es la de sacar los gases producto de la combustión que han cedido su energía calorífica y su presión es menor que la de la atmósfera, por lo que se requiere de un ventilador para expulsarlos fuera de la caldera.

- **Ventilador Tiro Forzado**



Tipo de carga: Ventilador tiro forzado.
Marca del arrancador: BALDOR.

Datos de placa del motor.

Potencia: 400 CV (393 HP)	Corriente: 430A
Voltaje: 480 V	RPM: 892.
Fp: 0.82	

Figura 3.11 Arrancador suave instalado en el Ingenio Monte Rosa.

El ventilador tiro forzado es un elemento fundamental dentro de la generación de vapor en la caldera, pues este regula la entrada de aire necesaria para el proceso de combustión. Este ventilador tiene un gran momento de inercia ya que es un equipo pesado, de gran tamaño y requiere un alto par de arranque por lo que su puesta en marcha demandaría un gran pico de corriente si no se accionara a través de un arrancador suave.

- **Grúa transportador. Capacidad de 15 toneladas.**



Figura 3.12 Arrancador suave instalado en el Ingenio Monte Rosa. Marca del arrancador: Telemecanique. Potencia: 30 HP.

3.4 Compañía Licorera de Nicaragua.

3.4.1 Descripción.



La empresa licorera Nicaragüense está ubicada en el municipio de Chichigalpa, departamento de Chinandega.

Figura 3.13 Licorera Flor de Caña. Chichigalpa.

Las claves del éxito del Ron Flor de Caña son muchas, entre ellas, el suave envejecimiento en toneles de roble blanco, de 180 litros de capacidad, que llegan desde Escocia y de Kentucky, Estados Unidos. Se arman en la planta, en el área de ensamblaje, sin utilizar un solo clavo, para no corromper el ron almacenado. Hay alrededor de 154,000 barriles en proceso de envejecimiento, simultáneamente, en todas las bodegas de la planta.

Esta empresa cuenta con los certificados de la serie ISO 14000, que a nivel mundial se otorga a las empresas industriales que velan y cumplen con las normas medio ambientales en el proceso productivo. En este caso, con la reducción de emisión de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera debido al proceso de fermentación.

3.4.2 Arrancadores suaves instalados en la Licorera Flor de Caña.

Esta industria está conectada a la red comercial, siendo uno de los principales consumidores de energía eléctrica en la región occidental. La licorera demanda la utilización de un gran número de motores eléctricos por lo que es de suma importancia el uso de arrancadores suaves tanto para la reducción del pico de demanda máxima como por las exigencias de sus procesos productivos.



Figura 3.14 Compresor de dióxido de carbono. Licorera Flor de Caña.

La reducción de la emisión de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera se hace por dos vías. Una de ellas es recuperando ese gas causante del efecto del invernadero y convirtiéndolo en un producto industrial, a través de plantas de purificación con una capacidad diaria de 75,000 libras de gas carbónico cada una.

Bajo un complejo sistema industrial lo recuperan en forma gaseosa por medio de un compresor, lo purifican y lo envían por cisternas en forma líquida a sus clientes en Centro América, empresas que producen bebidas carbonatadas, es decir, cervezas, gaseosas, etc.



Figura 3.15 Arrancador suave instalado en la Licorera Flor de Caña.

Tipo de carga: Compresor. Extractor de CO₂.

Marca del arrancador: DANFUSS

Datos de placa del motor:

Potencia: 150 HP

Corriente: 170 A

Voltaje: 460 V

RPM: 1780.

Este arrancador trabaja en conjunto con un Controlador Lógico Programable lo que permite un mayor control sobre el proceso, monitoreándose diferentes parámetros como: presión, temperatura y volumen.

La otra vía ha sido reducir sensiblemente el uso de búnker en las plantas destiladoras y las calderas, combustible derivado de petróleo fósil, altamente contaminante. De acuerdo a las estadísticas del Jefe de Producción, antes se empleaban 20,000 galones diarios de búnker para las plantas destiladoras. Hoy se ha reducido a más de la mitad, gracias a la implementación del gas metano como combustible en las calderas, el cual se obtiene en la misma industria.

Otra de las medidas de protección del medio ambiente que toma la licorera es el tratamiento de las agua residuales producto del proceso de elaboración del licor, para la obtención del metano. Las aguas residuales producto de la fermentación de la melaza son almacenadas en un tanque en el que se inyecta ácido fosfórico para enriquecer con nutrientes las bacterias disueltas en el agua, este tanque dispone de un agitador para mover el volumen de la sustancia y lograr una mezcla optima.



Figura 3.16 Motor del Agitador instalado en la Compañía Licorera Nicaragüense.

Este agitador es accionado por un motor el cual tiene acoplado un arrancador suave y este a su vez forma parte de un proceso monitoreado por un Controlador Lógico Programable que vigila parámetros como: volumen, nivel, concentración de ácido fosfórico, etc.

El tanque de almacenamiento de la sustancia tiene unas dimensiones de 13 metros de alto y 10 metros de diámetro, el agitador mueve aproximadamente el 90 % del volumen del tanque lo que representa una carga muy grande, la que si se accionara con un arrancador convencional se estaría sometiendo al motor a esfuerzos mecánicos que serian perjudiciales para el acoplamiento con la carga, los cojinetes y el eje del motor, por esta razón se instaló un arrancador suave para minimizar los esfuerzos mecánicos del motor, que pudieran incurrir en daños materiales con el consiguiente gasto económico.



Figura 3.17 Arrancadores suaves instalados en la Compañía Licorera Nicaragüense

Arrancador 1

Tipo de carga: BLOWER (Introduce aire en un tanque).

Marca del arrancador: WEG.

Datos de placa del motor.

Potencia: 12.7 kW. **Corriente:** 19.6 A
Voltaje: 415 V **RPM:** 3530.



Figura 3.18 Soplador (flower) instalado en la Compañía Licorera Nicaragüense.

Arrancador 2

Tipo de carga: AGITADOR

Marca: WEG.

Datos de placa del motor

Potencia: 10 HP **Corriente:** 13.4 A
Voltaje: 460 V **RPM:** 1165

La sustancia obtenida de la inyección de ácido fosfórico se envía a otro tanque donde se encuentra una determinada cantidad de bacterias disueltas en agua donde son mezcladas, aquí se necesita de aire para producir gas, el cual es introducido a través de un soplador (blower) que toma aire de la atmósfera y lo mete en el tanque.

El motor que acciona este soplador tiene acoplado un arrancador suave debido a que, para introducir aire en el tanque con agua, se tiene que romper un sello hidráulico, entonces lo que se hace es mantener cerrada una válvula de alivio, que se acciona manualmente mientras el motor alcanza su velocidad nominal y rompe el sello hidráulico, una vez que el motor ya ha arrancado y roto el sello se abre la válvula de alivio.

Si se pone en marcha el equipo de forma directa (sin la válvula de alivio) no se podría vencer la presión hidráulica del tanque por lo que se necesitaría un equipo más grande lo que incurre en más costos.

3.5 Empresa Constructora Fourcon.

3.5.1 Descripción



Figura 3.19 Empresa constructora Fourcon.

La empresa Fourcon Join Venture es una constructora de origen Danés, encargada de la rehabilitación y mejoramiento del tramo de carretera ubicada entre los municipios de San Benito-San Lorenzo con una longitud de 79.6 Km.

El sistema eléctrico de la empresa no está conectado a la red comercial por lo que cubren la demanda de sus equipos auto suministrándose a través de unidades electrógenas. El responsable del área eléctrica expresó, que les resultaba mas barato comprar Diesel para las unidades electrógenas que comprar la energía de la red comercial.

Como parte de una estrategia para reducir costos, la empresa Fourcon hace en sus propias instalaciones el cemento que se utiliza en la construcción de la carretera San Benito-San Lorenzo. Para obtener los materiales necesarios para la elaboración del mismo, se extraen rocas en una mina ubicada contiguo a las instalaciones de Fourcon, estas rocas de tamaños considerables, son trituradas en una primera etapa, por una trituradora de mordazas obteniendo un material más pequeño, el material resultante es llevado a través de bandas transportadoras hasta una trituradora de impacto donde es convertido prácticamente en polvo. Este polvo sirve como materia prima para la elaboración del cemento que se realiza en una fábrica situada en las mismas instalaciones de la empresa.



Figura 3.20 Trituradora de impacto. Fourcon.



Figura 3.21 Trituradora de mordazas. Fourcon.

3.5.2 Implementación de Arrancadores Suaves en Fourcon.

La trituración de la roca es un proceso aislado del de elaboración de cemento. La energía eléctrica demandada por la maquinaria que interviene en el proceso de trituración es suministrada por dos unidades electrógenas de 505 kVA, 460 V trifásicos, que suplen de energía tanto a los motores de las trituradoras, bandas transportadoras y equipos auxiliares destinados exclusivamente para el proceso de trituración.

Los motores acoplados a las dos maquinas trituradoras son los de mayor capacidad, demandando altos picos de corriente en el momento de arranque que podrían provocar caídas de voltaje en las unidades electrógenas haciendo actuar sus protecciones y eventualmente sacarlas de servicio. Por esta razón estos motores son accionados por medio de arrancadores suaves que permiten evitar estos inconvenientes.

Según el responsable de esta área, para poner en marcha estos motores por medio de un arranque directo o estrella-triángulo, se necesitaría de unas unidades electrógenas 30 % más grandes que las actuales para poder amortiguar el pico de corriente en el arranque.

Además, al tratarse de maquinas trituradoras de roca, las partes mecánicas que conforman estos equipos son sometidas a grandes fuerzas de choque y golpes mecánicos, que podrían dañarse si se accionaran abruptamente por medio de un motor con arranque convencional ^[5].

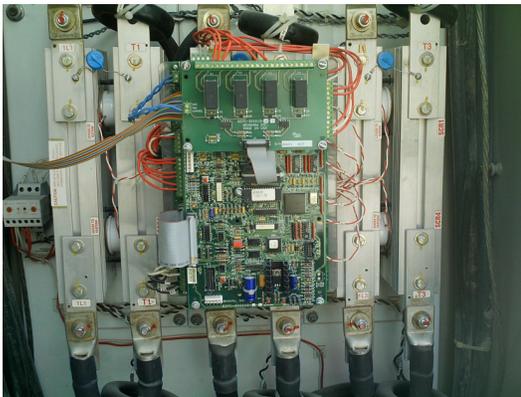


Figura 3.22 Arrancador suave instalado en Fourcon.

Tipo de carga: Trituradora de Impacto.

Marca del Arrancador Suave: Benshaw.

Datos de placa del motor

Potencia: 300 HP

Corriente: 330A

Voltaje: 460 V

RPM: 3600

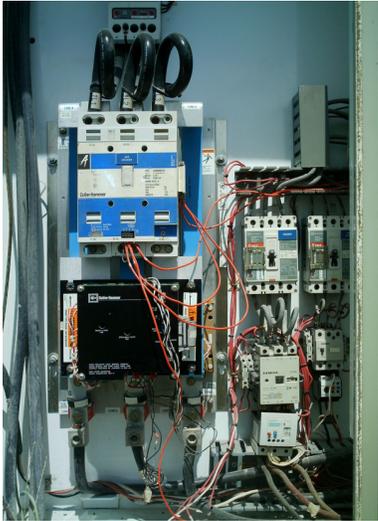


Figura 3.23 Arrancador suave instalado en Fourcon.

Tipo de carga: Trituradora de Mordazas

Marca del Arrancador Suave: Cutler Hammer.

Datos de placa del motor

Potencia: 150 HP

Corriente: 150 A

Voltaje: 460 V

RPM: 3600.

3.6 Compañía Cervecera de Nicaragua, S.A. (CCN)

3.6.1 Descripción.

La industria Cervecera S.A. es una empresa perteneciente al Consorcio Cerveceros Centroamericano. Está situada en el Km. 6 ½ Carretera Norte, de Cruz Lorena 600 mts. al norte. Tiene un régimen de trabajo de 24 horas demandando mayores cargas de lunes a sábado. Hoy en día se dedica al diseño, elaboración y distribución de cerveza de las marcas, Toña, Victoria y Premium, así como la distribución de Budweiser.

Para la elaboración de la cerveza, la empresa cuenta con las siguientes áreas: Cocina, fermentación, filtrado y embotellado.



Figura 3.24 Compresor instalado en CCN S.A.

Para que la materia prima (mosto) pueda ser tratada adecuadamente en cada una de estas etapas, esta tiene que mantener un determinado nivel de temperatura por lo que se emplea un sistema de refrigeración que utiliza como fluido amoníaco, el sistema de refrigeración cuenta con una serie de compresores de diferentes capacidades. La función de los compresores es aumentar la presión del amoníaco para hacerlo fluir a través de un sistema de tuberías que al encontrarse en contacto con el mosto logran enfriarlo.

3.6.2 Implementación de Arranadores Suaves en CCN.

El motor de uno de estos compresores (el de mayor capacidad), tiene acoplado un arrancador suave, el cual venia de fábrica junto con el compresor. Este equipo es esencial dentro del sistema de refrigeración pues asume gran parte del enfriamiento del mosto.

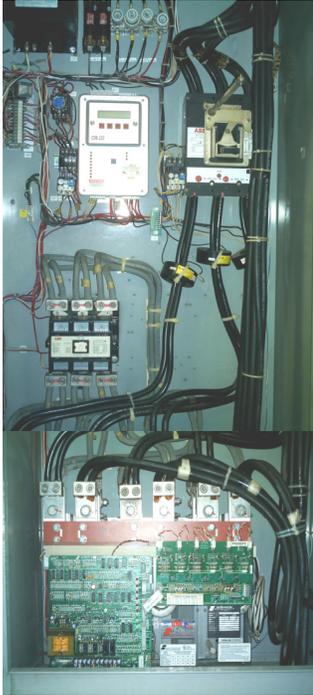


Figura 3.25 Arrancador suave instalado en CCN S. A.

Tipo de carga: Compresor de Amoníaco.

Marca del Arrancador Suave: Saftronics.

Datos de placa del motor

Potencia: 250 HP

Corriente: 280 A

Voltaje: 460 V

RPM: 3550.

3.7 Planta Nicaragua (GEOSA).

3.7.1 Descripción.



Figura 3.26 Planta Nicaragua (GEOSA).

La planta Nicaragua se encuentra ubicada en el litoral pacifico junto a Puerto Sandino a 75 Km. de la capital Managua.

Tiene una capacidad instalada de 100 mW. con dos unidades gemelas de 50 mW. cada una. La unidad uno entró al Sistema Interconectado nacional el 5 de diciembre de 1976 y la unidad dos el 5 de abril de 1977. La energía producida por esta central eléctrica es llevada a los centros de consumo por medio de dos líneas de transmisión de 230 kV.

Cada unidad está compuesta básicamente por los siguientes equipos:



Figura 3.27 Unidad, Turbina y Generador. Planta Nicaragua

- Caldera. Modelo Portallano con capacidad de producción continua de 215 toneladas por hora de vapor sobrecalentado. La temperatura de alimentación a la caldera es de 219⁰ centígrados la que se transforma en vapor a una temperatura de 516⁰ centígrados y una presión de 95 bar.

- Turbina. Marca Franco Tosi. Modelo TUVW-16. Tiene una capacidad de 53 mW. con condensador de superficie y una velocidad de 3600 rpm. La temperatura del vapor de entrada es de 510⁰ centígrados y la presión del vapor en turbina es 1.250 psi.
- Generador Sincrono. Marca ABB Tecnomasio. Tiene una potencia de 62 mVA y un voltaje de generación de 13.8 kV, 60 Hz, 3600 RPM, fp 0.85.
- Transformador. Capacidad nominal 60 mVA. Relación de voltaje 13.8/230 kV. Conexión Estrella / Delta.
- Planta Desalinadora. Temperatura del agua de mar 28.9⁰ centígrados. Temperatura del agua destilada 36.6⁰ centígrados, ph^[11] del agua destilada 6.7/7.5, presión media del vapor 8.79 kg/cm².

3.7.2 Implementación de Arrancadores Suaves en la Planta Nicaragua.

El abastecimiento de agua para la producción de vapor se obtiene a través de la transformación del agua de mar en agua dulce, proceso el cual se realiza en una planta desalinadora y una planta de Ósmosis Inversa^[11].

El proceso de tratamiento del agua de mar se realiza de la siguiente manera:

Por medio de unas bombas de circulación se llena un tanque con agua de mar, luego esta agua se pasa a través de un proceso de filtrado impulsada por una bomba de agua bruta, dicho proceso consta de tres etapas:

1. Primera Etapa. El agua de mar se hace pasar por cuatro filtros de arena, con el fin de eliminar sólidos y sedimentos.
2. Segunda Etapa. Se hace pasar el agua a través de dos filtros de carbón activado^[11], el cual sirve como absorbente por su gran cantidad de poros capilares, lo que permite eliminar olores característicos del agua de mar y microorganismos que se encuentren en ella.

3. Tercera etapa. Aquí el agua proveniente de la segunda etapa pasa a través de un filtro de cartucho, que elimina materia sólida en suspensión por medio de un proceso de floculación^[11] que no es mas que la inyección de un agente químico antincrustante (flocun 100) que produce la precipitación de las partículas sólidas que se encuentran dispersas en el agua formando floculos. Estos filtros están formados por un tanque por cuya parte superior se introduce el agua en tratamiento y una disolución del agente floculante, siendo íntimamente mezclados por unas paletas a gran velocidad, los floculos que se forman se sedimentan en el fondo del tanque, mientras que el agua clarificada se extrae por la parte superior.

Una vez finalizadas estas tres etapas de filtrado, (eliminación de residuos, malos olores y micro partículas) el agua todavía no se encuentra apta para su explotación por lo que tiene una alta concentración de sal y para eliminar estas sales disueltas en ella se emplea el proceso de osmosis inversa, que consiste en inyectar agua hacia un paquete de membranas semipermeables que tienen la propiedad de dejar pasar el agua pero no las sales disueltas en ella que son llevadas devuelta al mar.

Para ello se precisa de una bomba que eleva la presión del agua a 73 kg. Esta bomba es accionada por un motor que tiene acoplado un arrancador suave con el objetivo de controlar un diferencial de presión, ya que si se acciona con arrancador convencional se corre el riesgo de que se rompan las membranas pues se elevaría la presión de entrada al momento del arranque.

Así pues, con el arrancador suave se garantiza el buen funcionamiento de la osmosis inversa, minimizando gastos por reposición de membranas, mantenimiento, operabilidad, etc.



Figura 3.28 Arrancador Suave instalado en la Planta Nicaragua.

Marca del Arrancador Suave: EMOTRON

Tipo de carga: Bomba de la Osmosis inversa

Datos de placa del motor.

Potencia: 120 HP.	Corriente: 139 A
Voltaje: 440 V	RPM: 3570.
Fp: 0.89	Frecuencia: 60 Hz

Este arrancador tiene programado 20 seg. para el arranque y 40 seg. a la parada, este tiempo obedece al sistema de filtrado, estos arrancan al 300 % de la corriente nominal del motor y a un 30 % de la tensión nominal. Cada planta de tratamiento de agua consta de dos grupos moto-bomba, este arrancador suave esta instalado de manera que puede accionar a ambos grupos, uno a la vez, ya que su circuito esta diseñado para que no entren a funcionar ambos al mismo tiempo. Cada motor se alimenta a través de un contactor individual.

3.8 Panamco.

3.8.1 Descripción de la Empresa.



Figura 3.29 Proceso de revisión de embases.
Empresa PANAMCO.

La empresa de producción de bebidas perteneciente a la compañía PANAMCO (Panamerican Beverage Company) está situada en el Km. 4 Carretera Norte. Se encarga de la producción y/o distribución de bebidas como Coca Cola clásica y dietética, Fanta, Fresca, Sprite, Kinley, Milca, Jugos h-c y agua purificada Alpina. La empresa con sede en Nicaragua, utiliza para la producción de la bebida Coca-Cola cinco líneas que abarcan los procesos de transporte, lavado, llenado, envasado, revisión de nivel y calidad.

3.8.2 Utilización de Arrancadores Suaves.

Dentro de la producción es importante contar con un sistema de refrigeración, el cual consta de tres unidades compresoras, estas unidades cuentan con arrancadores suaves, los cuales son accionados por un Controlador Lógico Programable, el cual da la orden de arranque y/o parada según las necesidades del proceso.

Este controlador está monitoreando constantemente la temperatura de la bebida, si este registra un aumento de temperatura, mandará a accionar cuantos compresores fuesen necesarios para mantener la temperatura en el límite predeterminado. Si la temperatura desciende de este valor, el controlador desconectará las unidades compresoras necesarias.



Figura 3.30 Unidad compresora instalada en el Sistema de refrigeración a base de Amoniaco.
Empresa PANAMCO.

Cabe mencionar que estas unidades compresoras son esenciales para lograr una mezcla óptima de los elementos que componen la bebida, como son: agua compuesta, azúcar y dióxido de carbono. Para lograr este propósito, es vital mantener una temperatura adecuada para la mezcla de estos tres elementos, lo que se logra gracias al Sistema de Refrigeración de Amoniaco.

El amoníaco se almacena en unos tanques en forma gaseosa, a través de los compresores se eleva la presión del gas, aumentado su energía cinética y haciéndolo circular por una tubería, ya en forma líquida con una gran capacidad de transferencia de temperatura. A través de un tanque, donde se da la mezcla de los tres componentes de la bebida, se hacen pasar los tubos por donde circula el amoníaco, transfiriéndose la temperatura mediante el contacto superficial entre ambos.



Figura 3.31 Arrancador suave instalado en PANAMCO.

Tipo de carga: Compresor de Amoníaco.

Marca del Arrancador Suave: Allen Bradley.

Datos de placa del motor

Potencia: 125 HP

Corriente: 141 A

Voltaje: 460 V

RPM: 3565.



Figura 3.32 Arrancador suave instalado en PANAMCO.

Tipo de carga: Compresor de Amoníaco.

Marca del Arrancador Suave: Allen Bradley.

Datos de placa del motor

Potencia: 200 HP

Corriente: 214 A

Voltaje: 460 V

RPM: 3545



Figura 3.33 Arrancador suave instalado en PANAMCO.

Tipo de carga: Compresor de Amoniaco.

Marca del Arrancador Suave: BALDOR.

Datos de placa del motor

Potencia: 250 HP

Corriente: 285 A

Voltaje: 460 V

RPM: 3570.

4. Implementación de un Accionamiento Eléctrico con Arrancadores Suaves para la Unidad Termoeléctrica de la Planta Managua.

4.1 Introducción

La Planta Managua está ubicada en el kilómetro 1.5 carretera Norte, contiguo a ENABAS.

Esta planta está constituida por tres unidades generadoras:

- ⊕ Dos unidades de combustión interna de una capacidad de 6.25 mW. cada una, marca Wartsila, con una capacidad efectiva de 5.5 mW. Constan de un motor Diesel de cuatro tiempo sobrealimentado, refrigerado, de inyección directa y diseñado para operar con combustible pesado (Bunker).
- ⊕ Una unidad termoeléctrica de 45 mW. la cual utiliza como ciclo térmico el Ranking regenerativo, y cuenta con cinco etapas de regeneración. Se emplea diesel para el calentamiento inicial de la caldera y gas butano para el encendido de las antorchas piloto, y como fuente fría una torre de enfriamiento^[1].

Entre ambos tipos de unidades se tiene una capacidad nominal instalada de 57.5 mW. y emplean bunker como combustible principal. La unidad termoeléctrica de la Planta Managua se instala a finales de la década de los 60's y comienza sus operaciones a inicios de los 70's, cuando se instaló contaba con una caldera de flujo natural, turbina fabricada e instalada por Franco Tosi, Generador y equipos auxiliares^[1]. Después de 20 años de servicio la capacidad de la unidad termoeléctrica se redujo considerablemente, por lo que se tuvo que realizar una serie de rehabilitaciones en los siguientes equipos:

- La Caldera: fue rehabilitada en sus partes mas desgastadas y modernizando su sistema de medición y quemadores se logró recuperar la eficiencia. La temperatura de alimentación a la caldera es de 220⁰ C, con capacidad de producción de 196 toneladas de vapor por hora a 92 kg/cm² y 515⁰ C
- La turbina: se le hizo una reparación mayor como cambio de paletas gastadas, rehabilitación de cojinetes e instalación de instrumentos de supervisión modernos que garantizan su comportamiento y durabilidad.
- Con la rehabilitación se le aumentó a la unidad una torre de enfriamiento que vino a aumentar su confiabilidad.
- Los equipos auxiliares fueron rehabilitados en su totalidad y algunos como las bombas de condensado, combustible, etc., se cambiaron por nuevos.

Con todas estas mejoras se logró que la unidad entregara 40 mW. de potencia, aunque en la actualidad debido al tiempo de uso de la planta esta entrega al Sistema Interconectado Nacional solamente 30 mW. Esta unidad a diferencia de las dos unidades de combustión interna esta conectada al Sistema de Interconexión Nacional, participando dentro del Mercado de Ocasión.

El Sistema de Enfriamiento de la unidad Termoeléctrica, se compone principalmente por la torre de enfriamiento conformada a su vez por tres ventiladores accionados por motores de una potencia considerable y una frecuencia de arranque en dependencia del comportamiento de la carga energética que asume la unidad termoeléctrica de la Planta Managua.

4.2 Estudio de Caso: Aplicación de Arrancadores Suaves para la Torre de Enfriamiento de la unidad termoeléctrica de la Planta Managua.

Hoy en día, los altos costos de la energía eléctrica; ha obligado a la Industria Nicaragüense buscar e implementar nuevas formas de ahorro de energía, que le permitan reducir sus costos de producción y así poder obtener un mayor beneficio.

Las plantas de generación trabajan sobre la misma línea, pues los altos costos de los derivados del petróleo, exige aumentar la eficiencia en el proceso de generación. La Planta Managua, una de las plantas generadoras de electricidad más importantes a nivel nacional, comienza sus operaciones a inicio de los años 70, después de un largo periodo de trabajo se somete a una rehabilitación, donde se le suma una torre de enfriamiento.

La torre de enfriamiento tiene como función, disminuir la temperatura del agua de circulación y proveer de agua fría al condensador de la unidad y a los chimbos de refrigeración. Se instala para eliminar por completo la dependencia de la unidad de los niveles del Lago de Managua.

La torre consta de tres ventiladores de extracción que hacen circular el aire del ambiente en sentido contrario a la caída del agua, absorbiendo el calor contenido en las gotas de agua. Estos ventiladores son accionados por tres motores trifásicos rotor jaula de ardilla de 200 HP, siendo los equipos de mayor consumo en la torre. Se arrancan de forma directa, por lo que demandan una alta corriente (siete veces la I_n)^[2] en el momento del arranque, causando trastornos eléctricos y mecánicos tanto en las líneas de alimentación como en los equipos, esto impide que los motores puedan ser arrancados simultáneamente; haciendo menos eficiente el proceso de enfriamiento del agua de circulación.

El arranque de estos motores solo se puede realizar de forma local y teniendo en cuenta la distancia de la torre a las instalaciones de la planta, esto representa un problema para los operadores y para el funcionamiento mismo del sistema de enfriamiento.

Con el desarrollo del mercado energético, la competitividad que reina en este ámbito, obliga a las generadoras a optimizar sus procesos de generación, reduciendo el consumo eléctrico de sus equipos auxiliares a través de la búsqueda de nuevas formas de control y accionamiento, lo que repercute en la eficiencia y confiabilidad de sus instalaciones; la torre de enfriamiento representa actualmente para la Planta uno de sus puntos débiles dentro sus equipos auxiliares.

Por lo antes mencionado, la mejor opción para dar una respuesta a la medida de las necesidades tanto técnicas como económicas es la implementación de un sistema automatizado que controle el arranque de los tres motores, en dependencia de los parámetros de funcionamiento de la torre de enfriamiento, el sistema incluye la implementación de arrancadores suaves, eliminando los altos picos de corriente y el control a distancia optimiza la interacción entre el operador y la torre de enfriamiento, mejorando la eficiencia del proceso de enfriamiento, al mismo tiempo la automatización brindará una distribución equitativa de trabajo a los tres motores alargándose la vida útil de los mismos.

4.2.1 Características de la Carga

Para la elaboración y construcción del diseño eléctrico a base de Arrancadores Suaves accionados por Módulos Lógicos Programable, se analiza el Sistema de Enfriamiento de la unidad termoeléctrica, compuesto por una torre de enfriamiento conformada a su vez por tres ventiladores accionados por motores de una potencia de 200 HP y una frecuencia de arranque en dependencia del comportamiento de la carga energética que asume la unidad. Es por ello que el diseño se enfoca en el control y automatización de estos tres ventiladores.

4.2.2 Sistema de enfriamiento de la Unidad Termoeléctrica.



Figura 4.1 Torre de Enfriamiento instalada para la Unidad Termoeléctrica de la Planta Managua.

La torre de enfriamiento es marca Marley, tipo 6616-4-03, de tres celdas, tiro inducido y flujo cruzado y se instaló para eliminar por completo la dependencia de la unidad a los niveles del lago de Managua, con la torre en funcionamiento se garantizan los 45 mW. de la unidad en todas las épocas del año. Presenta un caudal de 45,000 Galones por Minuto (GPM).

La torre de enfriamiento tiene como función, disminuir la temperatura del agua de circulación y proveer de agua fría al condensador de la unidad y a los chimbos de refrigeración, tiene una capacidad de enfriamiento de 10,000 m³/h de agua de circulación desde 42° C hasta 29 °C.

Equipos que conforman la torre de enfriamiento.

- ⊕ Dos bombas de 5,000 m³/h cada una para subir el agua a las bandejas de la torre y su distribución en cada una de las tres celdas por medio de unos difusores y posteriormente su fraccionamiento al caer el agua hacia la pila pasando por las regletas separadoras.

- ⊕ Tres Ventiladores que hacen circular el aire del ambiente en sentido contrario a la caída del agua, absorbiendo el calor contenido en las gotas de agua.



Los equipos que conforman los ventiladores son:

- Motor eléctrico.
- Flecha de transmisión.
- Reductor de velocidad.
- Aspas.

Figura 4.2 Ventilador de la Torre de Enfriamiento.

- ⊕ Superficie rompe gotas, que consiste en una persiana ubicada en la parte interna de cada celda, cubriendo toda la superficie de la misma de manera que todo el aire que va hacia arriba pase a través de la persiana y las gotas de agua que arrastra el aire, se detienen en la persiana y caen en la pila, reduciendo las pérdidas.
- ⊕ Detector de vibraciones, está colocado en la estructura metálica del conjunto motor, reductor, ventilador, este a su vez está montado en la estructura de madera de la torre de modo que cuando las vibraciones producidas, ya sea por defectos mecánicos o flojedad de la madera se exceda de un determinado valor, este dispositivo pondrá fuera de servicio el conjunto a fin de evitar daños mayores.
- ⊕ Colector de agua caliente, este es un cilindro metálico que tiene la función de colectar el agua de las bombas de circulación de agua caliente y por medio de tres derivaciones con su válvula de mariposa se lleva el agua hasta las bandejas.
- ⊕ Válvula de reemplazo de agua, está conectada a la tubería de la red de pozos existentes en la planta y tiene la función de reponer el agua que se pierde por evaporación. Esta válvula se controla mecánicamente por un flotador para controlar el nivel de la pila y que el agua no se desperdicie por el rebosadero.

Equipos auxiliares de la torre de enfriamiento.

- ⊕ Pozos, estos se encargan de suministrar el agua para el llenado de la pila y el reemplazo del agua cuando la torre está en funcionamiento. Existe una red de cinco pozos instalados en la planta todos interconectados entre si; por las características del agua, los pozos 3 y 4 se dejan con carácter exclusivo para el abastecimiento de la torre.

- ✦ Paneles de Mando, están instalados tres paneles eléctricos que tienen la función de suministrar energía eléctrica a los diferentes equipos de la torre. El primer panel alimenta a las válvulas mariposas de descarga de las bombas de agua fría y caliente, el segundo es el de alimentación de los motores de los ventiladores y el tercero es el de alimentación de los motores de las bombas de los pozos 3,4 y 5.

Para garantizar una buena operación de la torre de enfriamiento y el agua de circulación se aplica tratamiento químico contra la corrosión y la formación de depósitos además de la aplicación de Biocidas ^[6] que contrarrestan el crecimiento de algas en la torre.

4.2.3 Procesos y equipos en los que interviene el agua de circulación proveniente de la Torre de Enfriamiento.

Sistema de agua de circulación.

El agua de circulación fría (29 ° C) se inicia en la pila de la torre de enfriamiento hasta la entrada al condensador, esto incluye el canal de salida de la pila, la fosa de las bombas y la tubería hacia el condensador. El agua de circulación caliente se define como el agua que pasó por los tubos del condensador enfriando el vapor de descarga de la turbina, llega hasta las fosas de las bombas llenando el sifón y la tubería de descarga del condensador, unas bombas se encargan de subirlas a las bandejas de la torre para iniciar su proceso de enfriamiento. La temperatura de agua fría y caliente varía en dependencia de la temperatura ambiente.

Ciclo de agua de Circulación.

El agua de circulación se emplea como el elemento frío para la condensación del vapor, y para el enfriamiento del agua refrigerante. La trayectoria del agua de circulación forma un ciclo cerrado, con el siguiente recorrido:

Inicialmente el agua es extraída de una pila de almacenamiento, ubicada debajo de la torre de enfriamiento e impulsadas por las bombas de agua de circulación a través de una tubería que al final se ramifica llevando una mayor parte de agua hasta el condensador y la otra a los enfriadores de agua de refrigeración, una vez que el agua de circulación hace su función enfriadora en estos dispositivos, el flujo de agua que sale de cada uno de ellos se reúne en una sola tubería y es impulsado por unas bombas (bombas de la torre de enfriamiento) a la parte superior de la torre donde el agua se enfría mientras cae en forma de brisa chocando con una reglillas de madera hasta depositarse nuevamente en la pila de almacenamiento, donde se repite el ciclo.

Las bombas de agua de circulación son dos, cada una capaz de suministrar el 100 % del agua necesaria para el buen funcionamiento de la unidad, también se tienen dos bombas de la torre de enfriamiento. Las pérdidas del ciclo de agua de circulación son repuestas con agua de pozos.

Sistema de agua de Refrigeración.

La demanda de agua de enfriamiento para la refrigeración de los equipos auxiliares; bombas, agua de alimentación, enfriadores de aceite, enfriadores del panel de muestreo, es cubierto por el sistema de refrigeración.

El agua del sistema de refrigeración es enfriada por los chimbos de refrigeración, que utilizan como medio refrigerante agua procedente de la torre de enfriamiento o sea del circuito de agua de circulación.

Ciclo de agua de Refrigeración

Esta agua se utiliza para la refrigeración de: el enfriador de aceite, el enfriador de hidrogeno de refrigeración del generador, compresores de aire de instrumentos, abanico tiro forzado, Ljugnstrom, bombas de agua de alimentación y panel de muestras químicas.

El agua de refrigeración forma en su recorrido un ciclo cerrado, primeramente es impulsada por unas bombas (bombas de agua de refrigeración) hacia los enfriadores de agua refrigerante, luego se distribuye por los distintos dispositivos para realizar la función de enfriamiento, después de enfriar estos equipos forma nuevamente un solo flujo que retorna a las bombas de agua refrigerante.

El ciclo de agua de refrigeración se alimenta y repone sus pérdidas por medio de un pequeño depósito denominado tanque de reemplazo, que a su vez es alimentado con agua condensada proveniente de la cisterna del condensador. En los chimbos de refrigeración se produce un intercambio de temperatura entre el agua de circulación fría (29°C) y el agua de refrigeración de los diferentes equipos. Estas temperaturas dependen de la temperatura ambiente y de las condiciones de la máquina.

Sistema de Suministro de Aceite.

Se encarga de suministrar aceite, a alta presión, para el sistema de gobernación y para los dispositivos de seguridad de la turbina, a baja presión, para la lubricación de los cojinetes de la unidad turbogeneradora. El aceite es impulsado por las bombas a alta presión en su totalidad, una parte de este se utiliza para operaciones de control y la otra parte se hace pasar por un reductor de presión para luego ser utilizado como lubricante.

En los enfriadores de aceite se disipa el calor absorbido por el aceite en su recorrido por la unidad turbogeneradora, la temperatura se transfiere en un intercambiador de calor donde por unos haces de tubos circula el aceite y por fuera de estos tubos circula agua de refrigeración que es la que absorbe parte de este calor. Esta se designa como agua de circuito cerrado y es enfriada por el agua proveniente de la torre.

Condensador.

Es el elemento en donde se da la condensación del vapor proveniente de la descarga de la turbina, el cual sale a una presión menor que la atmosférica. La condensación del vapor facilita el trabajo de bombeo de la sustancia de trabajo del ciclo térmico hacia los calentadores y la caldera al transformarla a su estado líquido, ya que el bombeo de vapor sería sumamente difícil.

El condensador trabaja con presión negativa (vacío) con la finalidad de mejorar la eficiencia de la turbina, obtener más trabajo del vapor y facilitar su condensación.

El condensador es de superficie, es decir que el vapor proveniente de la descarga de la turbina se condensa al pasar por fuera de varios haces de tubo por donde circula agua fría, conocida como agua de circulación proveniente de la torre de enfriamiento, provocando la condensación. El vapor condensado se almacena en un tanque, llamado cisterna, ubicado en la parte inferior del condensador.

4.2.4 Ventiladores de la Torre de Enfriamiento.

La torre de enfriamiento cuenta con tres ventiladores de extracción accionados por tres motores eléctricos, que son fundamentales para reducir la temperatura del agua de circulación ya que absorben el calor contenido en las gotas de agua. El ventilador está constituido por una hélice de siete aspas que forman un diámetro aproximado de siete metros y es impulsado por un motor cuyo eje está acoplado a una caja reductora, la cual hace girar al ventilador a 120 RPM.



Figura 4.3 Motor que acciona un Ventilador de la Torre de Enfriamiento.

Datos de placa de los Motores:

Marca	: RELIANCE ELECTRIC
Velocidad	: 1750 RPM
Potencia	: 200 HP (149.2 kW)
Fases	: TRES
Frecuencia	: 60 Hz
Voltaje	: 460 V
Corriente	: 230 AMP
Aislamiento	: CLASE F
Factor de Potencia	: 0.86

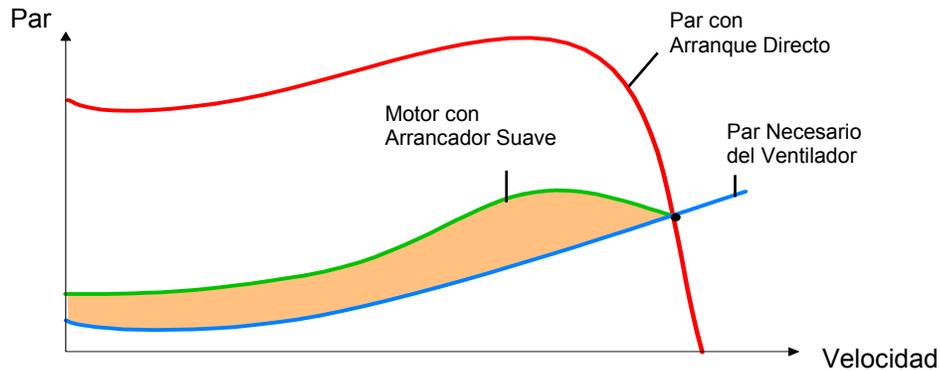


Figura 4.4 Curvas características Par-Velocidad de los Ventiladores.

Como se puede observar en la figura 4.4 el par de arranque desarrollado por el motor de inducción cuando se arranca a tensión plena es mucho mayor que el par requerido por los ventiladores demandando un alto pico de corriente, si se acciona el motor a través de un arrancador suave se tiene un mayor control sobre la corriente y el par de arranque del motor, se reduce el par de arranque en proporción del cuadrado de la reducción del voltaje manteniéndolo ligeramente sobre el par requerido por el ventilador, mientras que la corriente disminuye de forma proporcional con la reducción de voltaje, reduciendo los altos picos de corriente obteniendo así los beneficios de un arranque controlado y progresivo del motor ^[2].

4.3 Selección del Arrancador Suave para los motores de la Torre de Enfriamiento.

Los motores que accionan los ventiladores de la torre de enfriamiento son actualmente arrancados a tensión plena (arranque directo) y de forma local. La distancia de la torre al área de control de la planta es de aproximadamente 150 mts, trayendo inconvenientes para la activación o desactivación de los mismos, lo que repercute en la eficiencia de la torre.

El arranque a tensión plena origina picos excesivos de corriente, provocando al mismo tiempo caídas de tensión considerables, generando costos reales por la sobrecarga de la red eléctrica, así como también esfuerzos que aparecen en el accionamiento mecánico y en la propia estructura de la torre, pues estos motores están ubicados en la parte superior de la misma. Los arrancadores suaves constituyen la solución más viable para esta aplicación, pues incorpora varias características avanzadas que permiten un mayor control y protección para el motor y la carga. Además incorporan la opción de poder mandar a arrancar o parar el motor desde la sala de controles.

4.3.1 Aspectos a tomar en cuenta para la Selección del Arrancador Suave.

- Empresa Suplidora, con representación en el mercado nacional, la cual además brinde los servicios de consultoría, taller y mantenimiento.
- Selección de características y parámetros por el usuario para adaptar el arrancador a diferentes aplicaciones.
- Sencillez de uso.
- Medición de diferentes parámetros de operación del motor. (I, V)
- Capacidad de comunicación, control remoto e interacción con controlador lógico programable.
- Accesible económicamente.
- Compacto y de material resistente.
- Que pueda operar en ambientes de trabajo pesado.

Según estos criterios se recomienda un equipo que cumpla con dichos requisitos, dentro de estos tenemos:

El modelo Sikostar de Siemens, el modelo Baldor distribuido por Sinter y Copa, la Línea de Arrancadores Suaves MCD 3000 de la Marca Danfuss.

Teniendo en cuenta los criterios anteriores y en base a las visitas de campo realizadas a las diferentes industrias de Nicaragua, se recomienda el modelo de la marca Danfuss.

1. El representante de dicha marca en el país es la EMPRESA DE DESARROLLO DE INGENIERIA S.A. EDISA. Ubicada en Managua, ofreciendo los servicios de: Electrónica Industrial, Taller, Mantenimiento, Proyectos y Consultoría.



Figura 4.5 Arrancadores Suaves Danfuss modelos Mcd 3000.

2. El modelo MCD 3000 incorpora varias característica avanzadas, entre ellas tenemos las siguientes:

- Versiones para 200 – 690 VAC.
- Rangos de corriente para arranques normales y de servicio pesado.
- Partidor suave limita la corriente desde rampa con valor inicial.
- Cuatro rampas auto-ajustables bajo diferentes perfiles.
- Numerosas características de protección del motor.
- Función de Freno DC.

3. En cuanto a la sencillez de uso, el arrancador suave MCD 3000 dispone de una pantalla de cristal líquido (LCD), con capacidad para dos líneas de presentación, con un teclado y una estructura de menús fácilmente comprensible.
4. Los transformadores de corriente incorporados en el MCD 3000, miden la corriente del motor y proporcionan retroalimentación para controlar la rampa de voltaje del motor, pero también para numerosas funciones de protección.

5. Tomando en cuenta la capacidad de comunicación, el MCD 3000 tiene una interfaz interna que facilita la conexión e interacción con un controlador lógico programable, permite el control remoto y la supervisión de las características del motor.

4.3.2 Determinación de la Capacidad del Arrancador Suave.

Para seleccionar el modelo del arrancador suave se empleó el siguiente procedimiento [13]:

1. Se selecciona de la tabla 4.1 la corriente de arranque necesaria según la aplicación, al ser la carga un ventilador de extracción se selecciona una Corriente de Arranque Típica (CAT) de $3.5^* I_n$.

Aplicación	Corriente de Arranque Típica
General y agua	
Agitador	4.0* I_n
Bomba Centrifugadora	3.5* I_n
Compresor	4.0* I_n
Transportador	4.0* I_n
Ventilador (extracción)	3.5* I_n
Ventilador (impulsión)	4.5* I_n
Mezclador	4.5* I_n
Bomba de desplazamiento positivo	4.0* I_n
Bomba sumergible	3.0* I_n

Tabla 4.1 Corrientes de Arranque Típicas para diferentes tipos de carga.

2. Teniendo la Corriente de Arranque Típica (CAT) se selecciona según la tabla Rangos de corrientes (ver anexos) un modelo que con esa CAT, pueda manejar una corriente de 230 A y una potencia de 200 HP, que son los valores nominales de los motores de la torre de enfriamiento.
3. Se debe tener en cuenta que el ambiente de trabajo al que será sometido el arrancador suave es un ambiente pesado, por lo que este deberá ser capaz de operar satisfactoriamente bajo estas condiciones.

El Arrancador suave a utilizar debe tener las siguientes características técnicas [13]:

- Tensión de alimentación: 3 x 200 VAC ~ 690 VAC.
- Régimen de Trabajo Pesado.
- Potencia del Arrancador: 250 HP.
- Corriente nominal: 300 A
- Frecuencia de la alimentación al arranque: 50 Hz / 60 Hz (+/- 2 Hz).
- Frecuencia de la alimentación durante la marcha: >58 Hz (alimentación a 60 Hz).
- Tensión de Control: 230 VAC ~ 400 VAC (+10% / -15%).
- Terminales de Control: Activo, 24 VDC, 8 mA aproximadamente.
- Salidas de Rele: 5 A, 250 VAC / 360 VA, 5 A, 30 VDC.
- Grado de protección: IP 20.
- Temperaturas de trabajo: -5 °C / +60 °C
- Rango de la corriente del cortacircuito con fusibles semiconductores: 100 kA.

- Rango de la tensión del aislante (sobretensiones): 2 kV toma de tierra, 1 kV L-L.
- Rango de tensión resistente al impulso (transitorios rápidos): 2 kV.
- Descarga electrostática: 4 kV descarga de contacto, 8 kV descarga aérea.
- Puerto de comunicación serie.

4.4 Criterios de Accionamiento de los Ventiladores de la Torre de Enfriamiento.

Como se mencionaba anteriormente los ventiladores son elementos muy importantes de la torre de enfriamiento que ayudan a reducir la temperatura del agua de circulación la que se utiliza como medio frío para mantener los diferentes parámetros de operación dentro de sus valores nominales.

Actualmente, dadas las condiciones en las que se encuentra la central termoeléctrica Managua, **se trabaja de forma permanente con dos ventiladores en servicio**, el tercer ventilador entrará a funcionar según el comportamiento de los siguientes parámetros:

- 1. Temperatura de Carcaza del Turbogenerador.** Este parámetro es de suma importancia para la puesta en marcha del tercer ventilador y es directamente proporcional a la carga demandada a la unidad generadora, cuando dicha temperatura se encuentra dentro de los valores nominales ($\leq 48^{\circ}$ C) se tienen en funcionamiento dos ventiladores (entregando la planta aproximadamente 20 mW), si la temperatura excede este valor debido a un aumento de carga entrará a funcionar el tercer ventilador.
- 2. Temperatura del Aceite Lubricante.** Este aceite se almacena en un tanque denominado Carter donde se acumula y se suministra el aceite circulante en la unidad; tanto el de lubricación de cojinetes, sellos de hidrogeno y el aceite para el sistema de regulación. Cuando los valores de temperatura del aceite a la entrada están por debajo de 53° C se precisa solo de dos ventiladores si la temperatura supera este valor se manda a arrancar el tercer ventilador. En el caso de la temperatura de salida se trabaja con dos ventiladores cuando la temperatura está por debajo de 43° C, si se excede este valor se activará el tercer ventilador.
- 3. Temperatura del agua de Circulación.** Este parámetro es propio de la torre de enfriamiento ya que a través del monitoreo del mismo se determina la eficiencia de la torre, es decir, la cantidad de grados Centígrados (Diferencial de temperatura) que logra bajarle al agua. Se monitorea la temperatura a la entrada y la salida de la torre. Si la temperatura de entrada supera 36° C se necesitará del tercer ventilador, si la temperatura es menor a este valor operarán dos ventiladores. Cuando la temperatura de salida de la torre es mayor a 31° C se manda a accionar el tercer ventilador, si es menor a este valor solo trabajarán dos ventiladores.

4. **Vacío.** El vacío se logra extrayendo los gases no condensables de la cámara del condensador a través de los eyectores, logrando así una mayor condensación de vapor proveniente de la descarga de la turbina optimizado el uso del agua de circulación. Entre mas alto es el vacío se mejora la eficiencia de la turbina obteniendo mas trabajo del vapor y facilitando la condensación del mismo. Cuando el vacío llega a un valor de 11 pul/Hg. se emite una alarma y se accionará el tercer ventilador.
5. **Temperatura del agua de Refrigeración.** Como se dijo anteriormente su función es enfriar una cantidad de equipos auxiliares, aceite, etc. Su proceso de enfriamiento se lleva a cabo en los chimbos de refrigeración en donde se genera un intercambio de calor entre el agua de circulación fría (29° C) y el agua de refrigeración proveniente de los diferentes equipos (45° C).

Los valores de Temperatura de los parámetros de accionamiento de los ventiladores se obtuvieron del estudio de las hojas de lectura de la unidad termoeléctrica tomadas por los operadores en los diferentes puntos de medición.

Para efecto del Diseño del Accionamiento Eléctrico, dentro del circuito de control se tomarán en cuenta solo los tres primeros parámetros, los que consideramos son los de mayor importancia por la repercusión de estos en el ciclo de enfriamiento de la unidad generadora.

4.4.1 Estrategia de Control de los Ventiladores.

La estrategia de control de los motores es la siguiente:

- ❖ Poder ser arrancados tanto de forma local como remota.
- ❖ En condiciones normales de trabajo, activación o desactivación de los mismos de forma automática.
- ❖ Trabajo equilibrado y uniforme de los tres ventiladores, es decir que durante un año tengan las mismas horas de trabajo, permitiendo una rotación entre los tres ventiladores. Actualmente los operadores deciden según su propio criterio cual de los tres estará entrando o saliendo. Téngase presente que cuando la planta entrega 20 mW, trabajan únicamente dos ventiladores, pero si la carga aumenta a un valor superior a este, se tienen los tres ventiladores. He aquí uno de los principales enfoques de ahorro de energía, pues se trabajará con los tres cuando realmente la unidad lo amerite.
- ❖ Interacción entre el Sistema Automatizado y los operadores.

El tercer ventilador entrará o saldrá de servicio, automáticamente se detecte un aumento de temperatura en los parámetros a considerar. La temperatura de estos es proporcional a la carga que asume la unidad. Esta lógica de trabajo se logra gracias a la implementación de un Módulo Lógico Programable, el cual será el que envíe hasta el arrancador la orden de encendido o apagado en dependencia de la variación de los parámetros de temperatura.

4.5 Descripción de un Modulo Lógico Programable (MLP)

El Modulo Lógico Programable (MLP) es un dispositivo electrónico de estado sólido que controla la operación de una máquina. Utiliza funciones Lógicas, que son programadas en su memoria a través de un software.

Los MLP's fueron introducidos a finales de los años 1960 para reemplazar los relevadores secuenciales en el control de las máquinas. Los Relevadores se colocan en un simple panel para proporcionar un circuito de control especial conocido como lógica o lógica de relevador. El propósito de un circuito lógico es permitir que ocurra un evento como por ejemplo el arranque de un motor, solamente si se cumplen condiciones predeterminadas.

4.5.1 Funcionamiento de un Modulo Lógico Programable (MLP).

Un MLP funciona a través del escaneo continuo de un programa. Puede considerarse que este ciclo de escaneo consiste de tres pasos importantes:

- ⊕ Revisar el estado de entrada.
- ⊕ Ejecutar el programa.
- ⊕ Actualizar el estado de Salida.

Revisión del Estado de Entrada: El MLP revisa cada entrada para determinar si está conectada o desconectada. En otras palabras, ¿El *Sensor* está conectado a la primera entrada? ¿Qué tal con la segunda entrada? ¿Qué tal la tercera entrada?, etc. Registra estos datos en la memoria para ser utilizados durante el paso siguiente.

Ejecutar Programa: El MLP ejecuta el programa, una instrucción a la vez. Por ejemplo el programa puede decir que conectar la primera salida si la primera entrada estaba conectada. Sabe ya qué entradas están conectadas/desconectadas a partir del paso anterior. Por consiguiente, podrá utilizar el estado de la primera entrada para decidir si la primera salida debe ser conectada. Almacenará los resultados de la ejecución para su uso posterior durante el paso siguiente.

Actualización de Estado de Salida: Finalmente, el MLP actualiza el estado de las salidas con base en las entradas que estaban conectadas durante el primer paso y los resultados de la ejecución del programa durante el segundo paso. Un tiempo de escaneo se define como el tiempo requerido para ejecutar los tres pasos listados arriba.

4.5.2 Componentes de un MLP.

El MLP consiste principalmente de una Unidad Central de Procesamiento (CPU), áreas de memoria y circuitos apropiados para recibir datos de entrada y salida. La CPU es la parte más importante del MLP. Contiene el procesador que define lo que el MLP puede y no hacer. Las funciones del procesador son preestablecidas de tal manera que el MLP tenga ciertos límites establecidos. Estos límites son habitualmente el número máximo de entradas y/o salidas (*E/S*) disponible, pero pueden también incluir el número máximo de temporizadores, contadores y registradores, así como tipo de funciones que el MLP puede llevar a cabo.

Los Relevadores de Entrada están conectados al mundo externo. Existen físicamente y reciben señales de interruptores, sensores, etc. Relevadores Internos: no reciben señales del mundo externo, ni existen físicamente. Son relevadores simulados que habilitan un MLP para eliminar relevadores externos.

Los puertos de comunicación permiten la conexión del MLP a una computadora o a un programador portátil. Pueden también utilizarse para conectar módulos especiales o *Expansores*. Los bloques de expansión no contienen un CPU. “expanden” simplemente el número de E/S controladas por el CPU. Según el fabricante, cada expansor debe permitir el uso de un tipo diferente de entrada o salida. Por ejemplo, la unidad de base puede controlar E/S *Digitales* y el primer expansor puede controlar solamente salidas analógicas.

4.6 Criterios de selección del Módulo Lógico Programable a utilizar.

- ❖ Que tenga respaldo técnico y comercial en el país.
- ❖ Sencillez de uso y programación.
- ❖ Que tenga compatibilidad con arrancadores electrónicos.
- ❖ Tamaño moderado, para poder ser instalado junto con los equipos existentes.
- ❖ Disponibilidad de entradas analógicas.
- ❖ Que cumpla con los requerimientos del diseño.

Según estos criterios se recomienda la marca SIEMENS, cuya línea de módulos lógicos programables es LOGO.

LOGO es un modulo lógico universal que lleva integrado:



- ⊕ Control
- ⊕ Unidad de operación y visualización
- ⊕ Fuente de alimentación
- ⊕ Interfaz para módulos de ampliación
- ⊕ Interfaz para módulos de programa y cable de PC
- ⊕ Ciertas funciones básicas usuales en la práctica. Para activación/desactivación retardada, relé de impulsos e interruptor de software
- ⊕ Temporizador
- ⊕ Marcas binarias
- ⊕ Determinadas entradas y salidas según el tipo de equipo.

Figura 4.6 Módulos Lógicos Programables marca Siemens de la línea LOGO.

Mediante LOGO se resuelven tareas enmarcadas en la técnica de instalación y el ámbito doméstico (alumbrado de escaleras, luz exterior, toldos, persianas, etc.), así como en la construcción de armarios de distribución, de máquinas y de aparatos (controles de puertas, instalaciones de ventilación, bombas de agua no potable, etc.) para las aplicaciones en serie en la construcción de máquinas pequeñas, así como en el área de instalaciones.

4.6.1 Requerimientos para la Selección del tipo de LOGO y de los módulos de ampliación.

El MLP LOGO tendrá su propia alimentación de 24 VDC, asegurando su funcionamiento aún cuando la planta no tenga alimentación para sus equipos de control. Debido al proceso de control se necesitarán de cinco entradas analógicas; las salidas deben ser libres de potencial para poder ser conectadas al arrancador suave; se precisa de un temporizador para cumplir la función de explotación equitativa de cada motor.

Según los requerimientos anteriores se recomienda utilizar LOGO Basic 12/24 RC y LOGO AM2.

A través de la designación del tipo de LOGO podemos obtener información acerca de sus propiedades.

- ⊕ 12: alimentación de 12 VDC.
- ⊕ 24: alimentación de 24 VDC.
- ⊕ R: salidas de relé. Variante con pantalla.
- ⊕ C: temporizador semanal integrado
- ⊕ AM2: módulo de ampliación para entradas analógicas.

Designación	Alimentación	Entradas	Salidas
⁽¹⁾ LOGO 12/24 RC	12/24 VDC	8 digitales ⁽¹⁾	4 relés 230V x 10A
LOGO AM2	12/24 VDC	2 analógicos ⁽²⁾	Ninguna

⁽¹⁾ De ellas se pueden utilizar 2 como entradas analógicas. (0-10v ó 4-20mA)

⁽²⁾ Se puede conectar una señal analógica de 0-10v, 4-20 mA opcionalmente.

Se utilizará un arreglo de un LOGO Basic 12/24 RC con dos módulos de ampliación AM2 por cada uno de los motores.

4.7 Funciones lógicas utilizadas en el Diseño del Programa de Control con LOGO Basic 12/24 RC ⁽⁷⁾.

4.7.1 Descripción de las funciones utilizadas.

Temporizador Anual.

La salida se controla mediante una fecha de activación y desactivación parametrizable. En un determinado instante de activación, el temporizador anual conecta la salida Q, y la desconecta en un determinado instante de desactivación. La fecha de desactivación constituye el día en que la salida es repuesta nuevamente a 0.

Conmutador Analógico de Valor Umbral.

La salida es conectada cuando el valor analógico rebasa un umbral de activación parametrizable, la salida es desconectada cuando el valor analógico queda por debajo de un umbral de desactivación parametrizable.

La función lee el valor analógico de la señal que se encuentra en la entrada analógica (AI1, AI2...AI8), si este valor sobrepasa el umbral de conexión, la salida Q se activa, Q se desactiva cuando el valor alcanza o queda por debajo del umbral de desconexión. Con esta función se logra controlar la temperatura de los diferentes parámetros cuando esta difiere de los valores nominales de funcionamiento

Relé autoenclavador.

La salida Q es activada a través de una entrada y es desactivada a través de otra entrada. Un relé de parada automática es un sencillo elemento de memorización binario. El valor a la salida depende de los estados en las entradas y del estado anterior en la salida.

Dentro de las funciones Básicas utilizadas tenemos:

Funciones AND y OR

La salida de AND sólo ocupa el estado 1 cuando todas las entradas tienen estado 1, es decir, están cerradas. La salida de OR ocupa el estado 1 cuando por lo menos una entrada tiene estado 1, es decir, está cerrada.

4.7.2 Lógica de Funcionamiento del Programa de Control con LOGO Basic 12/24 RC. (ver diagrama, programa de control con LOGO)

El programa consta de cinco entradas analógicas y tres entradas digitales. Las entradas analógicas corresponden a los valores de los parámetros: temperatura de carcaza, entrada y salida de la temperatura del agua de circulación, entrada y salida de la temperatura del aceite lubricante; las entradas digitales corresponden a un pulsador de marcha, un pulsador de paro y un interruptor general de funcionamiento.

La lógica de funcionamiento del programa en LOGO está dividida en tres lazos que son:

- ⊕ Monitoreo y control de los parámetros.
- ⊕ Temporización.
- ⊕ Mando a Distancia.

El monitoreo y control de los parámetros se realiza de la siguiente forma:

La temperatura de carcaza representa la primer señal analógica que monitorea el programa a través de la función de conmutador analógico de valor umbral que activa su salida cuando el valor de temperatura supera 48 °C, la salida se desactiva cuando la temperatura desciende a 46 °C.

El segundo parámetro que se controla es la temperatura de entrada y salida del agua de circulación a través de dos funciones de conmutador analógico de valor umbral, la salida de la función que controla la temperatura de entrada se activará cuando esta supere los 31 °C y se desconecta cuando la temperatura descienda a 29 °C; la función que controla la temperatura de salida activará su salida cuando esta sobrepase de 36 °C y se desactivará cuando esta llegue a 35 °C.

La temperatura de entrada y salida del aceite de lubricación se controla a través de otras dos funciones de conmutador analógico de valor umbral; para la temperatura de entrada la función activará su salida cuando esta supere los 52 °C y la desactivará cuando descienda a 50 °C, para la temperatura de salida la función activa su salida cuando la temperatura supera los 42 °C y la desactiva cuando llega a 41 °C.

Las salidas de las funciones que controlan estos dos últimos parámetros se llevan a una compuerta AND ya que la temperatura de entrada y salida tienen una relación directa, es decir, el aumento de una provoca un incremento en la otra. Con la compuerta AND se logra mantener esta proporcionalidad entre ambos valores.

Si la temperatura de cualquiera de estos tres parámetros sobrepasa los valores predeterminados se manda una señal de activación a la salida Q a través de una compuerta OR.

Dentro del monitoreo y control de los parámetros se realiza **una limitación del número de arranques por hora del motor**, dejando un margen de temperatura del valor de diseño de los parámetros que intervienen en el proceso, previendo sobrecargas en el motor por arranques excesivos. Esto se logra dejando dos grados de margen por encima de la temperatura superior (caliente) y dos grados por debajo de la temperatura inferior (fría) de cada uno de los parámetros que intervienen en el sistema de enfriamiento.

Lazo de Temporización.

Como se dijo anteriormente el programa contempla una lógica de trabajo equitativa de los tres motores, es decir, que durante un año los tres ventiladores tendrán un régimen igual de explotación. Para ello se utilizó la función de *Temporización anual* que permite conectar y desconectar cada uno de los ventiladores en cualquier mes del año y en un día determinado.

En un mes determinado estarán trabajando dos motores de forma permanente y el tercer motor se accionará en dependencia de la variación de los parámetros mencionados, o sea, que este ventilador será gobernado por el lazo de control y monitoreo de parámetros.

En el siguiente mes los ventiladores se alternan, uno de los dos ventiladores que estaba trabajando de forma permanente controlado por la temporización, pasará a ser controlado por el lazo del monitoreo y el motor que era controlado por el monitoreo pasará a un régimen de trabajo permanente durante este mes y así sucesivamente. El proceso de activación y desactivación de los tres ventiladores en los diferentes meses del año se detalla en la siguiente tabla:

Meses del año	Ventilador A	Ventilador B	Ventilador C
Enero			
Febrero			
Marzo			
Abril			
Mayo			
Junio			
Julio			
Agosto			
Septiembre			
Octubre			
Noviembre			
Diciembre			

Como se observa en la tabla anterior, en un determinado mes del año funcionan de forma permanente dos ventiladores, el tercer ventilador va a ser controlado por el monitoreo de los parámetros y se va activar y desactivar en dependencia de estos, alternándose luego los tres ventiladores en los siguientes meses del año controlados por el lazo de temporización y el de monitoreo de parámetros.

Lazo de Mando a Distancia.

El tercer y último lazo consiste en la puesta en marcha y paro a distancia (desde la sala de controles) de cada uno de los tres ventiladores, al mismo tiempo brinda al operador la oportunidad de interactuar con el Programa.

Este lazo permitirá al operador decidir el momento en el que LOGO tomará control sobre los tres ventiladores de la torre de enfriamiento una vez que el considere que los parámetros que la rigen se han estabilizado, por ejemplo, cuando la unidad termoeléctrica sale de servicio y se pone en marcha nuevamente.

Para ello este lazo cuenta con un pulsador de marcha y paro, una función de Reset que simula un arranque directo con autoenclavamiento y un interruptor general que deja inhabilitado a LOGO de modo que no pueda gobernar a los ventiladores, pudiendo ser activados únicamente de forma local.

4.8 Circuito de Control, Señalización y Alarma. (ver diagrama de control)

4.8.1 Fuentes de Tensión.

La circuitería del diagrama de control, señalización y alarma estará alimentada por dos fuentes de alimentación con voltajes de 24 VDC y 230 VAC. La fuente de alimentación con voltaje de 24 VDC alimentará, al Modulo Lógico Programable, a los módulos de expansión de señales analógicas y a los convertidores acoplados a los sensores de temperatura. La fuente de 230 VAC alimentará la electrónica del arrancador suave, las bobinas de los contactores, y los circuitos de señalización y alarma.

4.8.2 Descripción y ubicación de los elementos de Control.

El control a distancia de los ventiladores se realiza a través de pulsadores, interruptor y de los lazos de control programados en LOGO, estos dispositivos estarán ubicados en la sala de controles y se describen a continuación:



Figura 4.7 Pulsadores de Marcha y Paro

S1: Pulsador de Marcha, a través de este se pueden accionar los ventiladores de forma independiente del lazo de parámetros del sistema y del lazo de temporización, se conecta directamente en las bornes de entradas digitales del Modulo Lógico Programable.

S2: Pulsador de Paro, se conecta directamente en los bornes de entradas digitales del Modulo Lógico Programable, a través de este pulsador el operador podrá decidir el momento en el que los ventiladores de la torre de enfriamiento pasarán a ser gobernados por los lazos de control, una vez que los parámetros de la planta se hayan estabilizado.



Figura 4.8 Interruptor General.

S3: Interruptor de Programa, se conecta directamente en los bornes de entradas digitales del Modulo Lógico Programable, este interruptor inhabilita los lazos de control del MLP, ejerciendo la función de un paro general, por lo que los ventiladores solo podrán ser accionados de forma local.

S4: Pulsador de Reset, proporciona un circuito cerrado en los terminales de control del arrancador suave (25, 26), condición necesaria para que este funcione, este pulsador estará ubicado en las instalaciones de la torre de enfriamiento.

MLP (LOGO): El Modulo Lógico Programable recibe las señales digitales (pulsadores, interruptor) y analógicas (sensores de temperatura), estas son procesadas en los lazos de control y según las condiciones predeterminadas envía un 1 o un 0 lógico al arrancador suave por medio de un contacto normalmente abierto libre de potencial (Q1).

Arrancador Suave: Es controlado por control remoto con marcha a dos hilos (terminales 15 y 16 cortocircuitados) y pulsador de Reset, la señal de arranque es proporcionada por el MLP a través de su contacto normalmente abierto Q1 que se conecta a los terminales de control (17,18), los terminales de salidas son tres reles programables.

- Rele A: contactor de línea.
- Rele B: contactor de aislamiento.
- Rele C: contactor de freno (no utilizado).

4.8.3 Elementos de Señalización y Alarma.



La señalización de los diferentes estados de funcionamiento del sistema de control, así como la ocurrencia de fallos y condiciones anormales de funcionamiento se realizará a través de lámparas de señalización que estarán ubicadas en la sala de controles.

Figura 4.9 Lámpara de señalización con lentes de anillos concéntricos.

El color de la lámpara de señalización estará en dependencia del estado de funcionamiento del sistema o del tipo de alarma y se detallan a continuación:

- Verde: indicador de marcha, el ventilador está en servicio.
- Rojo: indicador de paro, el ventilador está fuera de servicio.
- Amarillo: alarma por Sobrecarga del motor o alta temperatura del motor.
- Azul: alarma por asimetría de Tensión.
- Blanco: alarma por vibración.

4.8.4 Función de los Contactores.

KM1: Contactor de línea, alimenta los contactos de potencia del arrancador suave y su bobina es alimentada por el relé de salida "A" del arrancador suave, por medio de su contacto auxiliar normalmente abierto se alimenta la lámpara de señalización de marcha y su contacto auxiliar normalmente cerrado alimenta la lámpara de señalización de paro, ambas ubicadas en la sala de controles.

KM3: Contactor de Aislamiento, su función es la de aislar de tensión a los contactos de salida del circuito de potencia del arrancador suave, cuando los motores sean accionados a través del arranque directo. Se alimenta por el relé de salida "B" del arrancador suave y su contacto auxiliar normalmente abierto alimenta la lámpara de señalización de marcha y su contacto auxiliar normalmente cerrado alimenta la lámpara de señalización de paro, ambas ubicadas en la sala de controles.

KM4: Contactor de vibración, su contacto auxiliar normalmente abierto permite que la señal de arranque que envía el MLP a través de Q1 llegue a los terminales de control del arrancador suave (17, 18), su bobina es alimentada por un contacto cerrado (CV) del dispositivo contra vibración instalado en cada motor, este contacto se conmuta cuando las vibraciones del motor sobrepasa un nivel predeterminado, desenergizando la bobina del contactor, el cual alimenta la lámpara de alarma contra vibración a través de su contacto normalmente cerrado.

KM5: Contactor del termistor, su contacto auxiliar normalmente abierto permite que la señal de arranque que envía el MLP a través de Q1 llegue a los terminales de control del arrancador suave (17, 18), es alimentado por un contacto de temperatura del termistor instalado en cada motor, el contacto auxiliar normalmente cerrado del contactor alimenta la lámpara de alarma contra sobrecarga ubicada en la sala de controles.

KM6: Contactor de transferencia, este contactor permite alimentar el MLP, los Modelos de expansión y los convertidores cuando falle la tensión AC, su bobina está conectada directamente a 240 VAC, al cerrar sus contactos normalmente abiertos la fuente de 24 VDC se alimenta a través del voltaje alterno, cuando se desenergiza su bobina (fallo en el voltaje alterno de alimentación) sus contactos normalmente cerrados hacen que los equipos sean alimentados por las baterías, manteniendo un servicio continuo de los mismos.

Ra: Contacto conmutado del Relé de Asimetría de tensión, se conmuta ante un fallo en la tensión de alimentación, en su estado cerrado o de operación normal, alimenta la bobina de los contactores KM1 y KM3, en estado abierto o de operación de fallo, alimenta la lámpara de alarma contra fallo por asimetría de tensión ubicada en la sala de controles.

4.9 Circuito de Fuerza.

Cada Arrancador Suave se instalará en su propio gabinete con el mismo número y configuración de equipos, conectados de igual forma para el control y protección de cada uno de los tres motores de la torre de enfriamiento.

Las tres celdas serán alimentadas por un transformador trifásico de 13800/460 V, 800 kVA, conectado en Delta-Estrella con neutro aterrizado, este transformador alimentará a través de un interruptor principal de potencia una barra de 460 V, N+Tierra, de la cual se deriva a cada una de las celdas.

A la salida del interruptor de principal se conecta un apartarrayo de baja tensión. En la derivación de las celdas se instala un supresor de transientes de voltaje conectado en derivación y solidamente aterrizado.

Cada una de las tres celdas dispone de un interruptor de tres posiciones (transfer manual) que permite accionar al motor a través del arrancador suave en su posición uno (Control Automatizado), y en forma directa a línea en su posición dos.

Cuando se arranca por medio del Arrancador Suave, se dispone de los siguientes elementos de protección:

- Fusibles de Fase de acción retardada.
- Rele de Asimetría de Tensión.
- Fusibles para semiconductores ultrarrápidos.

Se dispone de dos contactores, uno de línea (KM1) y otro de aislamiento (KM3) por la siguiente razón: aislar de tensión al arrancador suave cuando el motor sea accionado a través del arranque directo a línea, y de esta manera preservar los tiristores del circuito de potencia del arrancador.

Respetando los criterios de coordinación de protecciones, se conecta finalmente un Rele de Sobrecarga, presente para cada una de las dos formas de arranque.

Cabe mencionar que cada una de las tres celdas constará de un transformador para control 460 / 240 V, 250 VA.

4.10 Fuente de Alimentación de 24 VDC.

Dado que los MLP's, los módulos de expansión para entradas analógicas y los convertidores requieren de un voltaje de alimentación de 24 VDC, se necesita de una fuente de alimentación de DC exclusiva para estos equipos, el cual se seleccionará acorde a los niveles de voltaje disponibles en la planta, así como las características de los equipos que alimentará. En base a esto, para dimensionar la fuente de alimentación de 24 VDC, se debe de tener en cuenta lo siguiente:

4.10.1 Voltajes y frecuencia de la Fuente de Alimentación:

Es importante considerar los tipos de voltajes existentes en la Planta para garantizar el servicio continuo de la fuente DC y por ende de los equipos. Se dispone de una alimentación de 240 VAC, 60 Hz. en caso que esta falle, se tendrán en serie dos baterías de 12 VDC, conectadas a la salida de la fuente de alimentación de 24 VDC, garantizando el funcionamiento continuo de los equipos.

De modo que el voltaje de entrada de la Fuente de Alimentación debe ser de 240 VAC y el voltaje de salida debe de ser de 24 VDC.

4.10.2 Capacidad de Potencia Requerida.

La potencia de la fuente de Alimentación deberá satisfacer la potencia requerida por los equipos que alimentará, esta se detalla a continuación:

<i>Consumo de Equipos Alimentados a 24 VDC, por cada Ventilador (Ver Anexos)</i>		
<i>Equipos</i>	<i>Potencia (W)</i>	<i>Corriente (mA)</i>
Logo 24 RC	1.8	75
2 Módulos de Expansión AM2	2.4	100
5 Convertidores de Señales Analógicas	4.2	100
Total	8.4	275
Consumo total en los tres Ventiladores	25.2	825

Tabla 4.2 Consumos de equipos alimentados a 24 VDC.

4.10.3 Numero de Salidas Requeridas.

La Fuente de Alimentación debe tener tres salida para alimentar los tres bloques de equipos formado por MLP y módulos de expansión, que se instalarán para controlar cada ventilador. Cada salida debe tener capacidad para manejar una potencia de 8.4 Watts, y una corriente de 275 mA. La capacidad de potencia total de la fuente de alimentación será la sumatoria de las capacidades de cada una de las salidas:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 = 8.4 + 8.4 + 8.4 \quad [4-1]$$

$$P_t = 25.2 \text{ Watts.}$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 = 275 + 275 + 275 \quad [4-2]$$

$$I_t = 825 \text{ mA.}$$



Figura 4.10 Fuentes de Alimentación de VDC.

Se recomienda utilizar una fuente de alimentación VDC con las siguientes características técnicas:

- Capacidad de Potencia: 30 Watts.
- Voltaje de Entrada: 120 / 240 VAC, 47- 63 Hz.
- Rango de Voltaje de entrada en DC: 120 – 375 VDC.
- Corriente de Entrada: 0.7 – 1.3 A.
- Corriente de Arranque: < 25 A.
- Tiempo de Retención: > 20 ms a 96 VAC.
- Voltaje de salida: 24 VDC.
- Corriente de salida: 2.5 A.
- Eficiencia: 90 %.

4.11 Características de las Baterías de 12 V.

Como se mencionaba anteriormente es muy importante garantizar la alimentación del MLP ya que de este depende en gran parte el control sobre el funcionamiento del proceso de enfriamiento de la unidad y el accionamiento de los equipos que intervienen en el mismo. EL MLP es alimentado a través de una fuente de alimentación de 24 VDC y esta a su vez es alimentada por una fuente de 240 VAC, previendo que esta alimentación falle se colocaran en serie dos baterías de 12 VDC conectadas a la salida de la Fuente de Alimentación de 24 VDC, garantizando el servicio continuo del MLP (*ver diagrama de control*).

Para determinar las características de las baterías se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. Voltaje de alimentación de los equipos: el voltaje necesario es de 24 VDC, se conectarán en serie dos baterías de 12 VDC a la salida de la fuente de VDC.
- b. Autonomía: es el tiempo total que la batería es capaz de proporcionar energía sin descargarse. Se predetermina un tiempo de autonomía de 4 horas.
- c. Corriente de Carga: es la corriente total de los equipos que serán alimentados a 24 VDC (MLP, Módulos de Ampliación, convertidores), $I_c = 0.825$ A.
- d. Factor de descarga: 0.8.
- e. Se calculan los Amperios-Horas necesarios con la siguiente formula:

$$AH = \frac{T_{auton.} * I_c}{0.8} = \frac{4 * 0.825}{0.8} \quad [4-3]$$
$$AH = 4.125 \text{ A-H}$$

Se recomienda utilizar 2 baterías en serie libres de mantenimiento, tipo Gel de 10 A-H, 12 VDC.

4.12 Transformador para alimentación de Control. [38]

Para el dimensionamiento del transformador para alimentación de control se tomarán en cuenta los siguientes factores:

- Voltaje de alimentación disponible para el transformador y voltaje de operación de la carga.
- Potencia Requerida por la Carga en VA.

El consumo total de los equipos por celda que alimentará el transformador se muestra a continuación:

Equipos	Potencia (VA), por celda.
Arrancador Suave	40
Relé de Asimetría de Tensión	20
Relé de Sobrecarga	10
Bobina del Contactor de Linea	49
Bobina del Contactor de Aislamiento	49
6 Lámparas de señalización.	36
Total	204
Potencia Total para las tres celdas	612

Tabla 4.3 Consumo de Equipos alimentados por el transformador para control



Figura 4.11 Transformadores para Control.

El voltaje de alimentación de los equipos es de 240 V, demandando una potencia total de 204 VA, se utilizará un transformador monofásico para alimentación de control por cada celda con las siguientes características:

- Voltaje primario: 460 V.
- Voltaje secundario: 230 V.
- Corriente primaria: 0.52 A
- Corriente secundaria: 1 A
- Capacidad del transformador: 250 VA.

4.13 Sensores para medir la temperatura de los parámetros Agua de Circulación, Temperatura de Carcaza y Aceite Lubricante.

La temperatura constituye una de las variables más importantes en los procesos industriales ya que puede reflejar el buen funcionamiento del mismo así como acusar una situación anormal, es por esto que se vuelve indispensable disponer de diferentes dispositivos para su medición.

En el Sistema de control de los ventiladores de la torre de enfriamiento la temperatura es la variable principal a tomar en cuenta ya que de esta depende el accionamiento de los mismos. He aquí la importancia de instalar sensores para monitorear la temperatura del agua de circulación, temperatura de carcaza y aceite lubricante, que son los parámetros que se consideran en el sistema de control. El sensor que se utilizará en el diseño para medir esta temperatura es la **Termocupla**.

Una termocupla es un sensor de temperatura que se forma por medio de dos alambres de distinto material unidos en un extremo a través de soldadura, cuando la unión de los dos alambres es sometida a temperatura se genera un voltaje muy pequeño (mV) en sus extremos el cual es proporcional a la temperatura aplicada.

La termocupla se encuentra encapsulada dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina) que sirve como protección, en un extremo está la unión en contacto con la sustancia a medir y en el otro el terminal eléctrico de los alambres. Existen diferentes tipos de termocuplas con dimensiones de entre 20 y 100 cm.

La Termocupla a utilizar en el diseño es del tipo **J** con las siguientes características técnicas:

Tipo termocupla	Material del Cable +	Material del Cable -	Rango de Temperatura °C	Voltaje Máximo (mV)
J	Hierro	Cobre/Níquel	-180 – 750	42.2

Tabla 4.4 Características técnicas de una termocupla tipo J.

Si la termocupla tipo J se somete a una temperatura de 750 °C, debe aparecer en los extremos un voltaje de 42,2 mV.

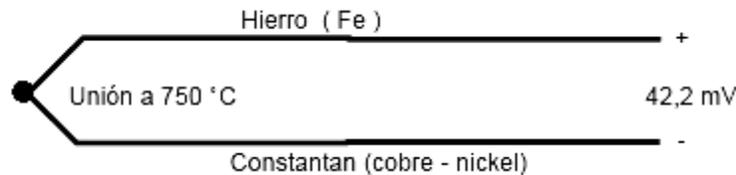


Figura 4.12 Termocupla tipo J.

La ubicación de los puntos de medición de los diferentes parámetros se representan en los diagramas y se expresan de la siguiente manera: (Ver Diagramas).

1. Temperatura de Carcaza: TIR 3031.
2. Temperatura de Aceite Lubricante Entrada: TIR 3874.
3. Temperatura de Aceite Lubricante Salida: TIR 3875.
4. Temperatura agua de Circulación Entrada: TIR 3180
5. Temperatura agua de Circulación Salida: TIR 3184

4.13.1 Introducción de las Señales analógicas de temperatura al LOGO.

La termocupla es un sensor de temperatura que convierte este valor analógico en una magnitud eléctrica (voltaje), pero la proporcionalidad entre el voltaje entregado por la termocupla y la temperatura aplicada no es lineal, esta linealización se logra a través de un convertidor.

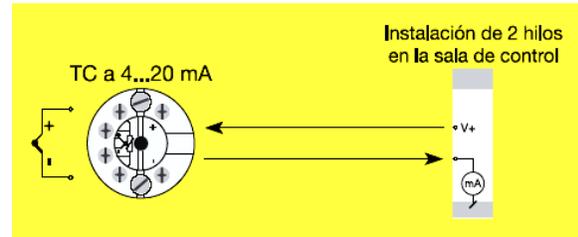


Figura 4.13 Convertidor de señales analógicas y forma de conexión.

El convertidor es un dispositivo programable por medio de software que reconoce automáticamente el tipo de termocupla (J), toma el voltaje bipolar en mV que aparece en sus extremos y lo convierte en una señal estándar de corriente de 4—20 mA^[40].

La señal estándar de corriente de 4—20 mA. es aplicada directamente a los bornes de entradas analógicas del LOGO. Los extremos de la termocupla se conectan al convertidor y ambos van montados en un cabezal de sensor DIN.

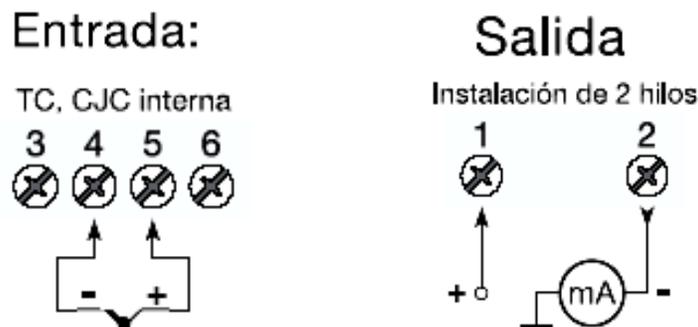


Figura 4.14 Conexión de la entrada y salida del convertidor.

5. Protecciones Eléctricas y Dimensionamiento de Equipos del Diseño Propuesto.

Los arrancadores de estado sólido deben protegerse contra las fallas y cortocircuitos de la misma manera que los arrancadores electromecánicos de voltaje reducido. El nivel de protección del diseño será tal que el equipo no se dañará ante una falla o cortocircuito y estará protegido por fusibles para semiconductores.

Los arrancadores suaves también deben protegerse contra sobreintensidades transitorias para evitar cortocircuitos en los tiristores, esta protección generalmente se realiza a través de supresores de voltaje transitorios.

La coordinación de las protecciones eléctricas se hará de manera tal que se priorizarán las protecciones externas sobre las protecciones propias del arrancador suave, de manera que ante un eventual fallo responderán de manera mas rápida las externas.

5.1 Protección contra sobrevoltajes transitorios.

5.1.1 Supresor de Voltajes Transitorios.

Este tipo de protección protege a la instalación y a los equipos contra sobrevoltajes transitorios de carácter atmosféricos (rayos) o bien sobrevoltajes producidos por maniobras eléctricas. Un supresor de voltaje se encarga literalmente de suprimir el excedente de la onda de sobrevoltaje que sobrepasa el voltaje nominal del sistema antes que esta llegue a los equipos eléctricos y se encarga de conducir toda su energía directamente hacia tierra.

Al ocurrir el sobrevoltaje, el supresor responde en cuestión de nanosegundos y cambia de su estado de circuito abierto de alta impedancia, a una derivación a tierra de baja impedancia desviando las corrientes dañinas para los equipos; al concluir el evento transitorio de sobrevoltaje el dispositivo vuelve a su estado de funcionamiento normal sin que se halla producido una interrupción en el servicio.

5.1.2 Criterios de Selección.

El uso y selección adecuada de los supresores de voltaje resultan ser muy importantes para el buen funcionamiento de la instalación, ya que por las características de la misma cuenta con equipos muy sensibles y de un alto coste (Arrancadores Suaves), además, dada la importancia del proceso en que se ve inmerso el Diseño la continuidad del servicio se vuelve vital. Dentro de los factores de selección a tomar en cuenta tenemos:

- *Fuente de Alimentación:* los motores de la torre de enfriamiento son alimentados por un transformador trifásico de 800 kVA. 13.8 kV / 460 V conexión Delta-Estrella con neutro solidamente aterrizado a tierra.

- *Resistencia de la Red de Tierra:* este es un parámetro muy importante ya que si el supresor de voltaje se instala en una mala red de tierra es equivalente a que la protección no exista, o bien la onda de sobrevoltaje descargará su energía en el equipo a proteger. La red de tierra debe proporcionar la disponibilidad de conectar el dispositivo en todas las formas de protección: L-L, L-G, N-G, L-N.
- *Sitio o nivel de exposición.* La instalación tendrá lugar en un ambiente con elevada exposición a descargas atmosféricas y con gran proximidad de líneas de alta tensión, de acuerdo a esto y según los niveles de exposición especificados por la ANSI/IEEE, la instalación tiene un nivel de exposición de Categoría C, donde las magnitudes de las corrientes producidas por sobrevoltajes pueden ser de hasta 200 kA.
- *Características del equipo a proteger:* para proteger los equipos de sobrevoltajes tenemos que tomar en cuenta la tensión de impulso ($U_{impulso}$) que estos soportan, según la norma CEI 60364-4 para equipos como arrancadores suaves este valor es de 6 kV. y la tensión de la red de alimentación (U_r) así, el nivel de protección del supresor de Sobrevoltaje (U_p) debe cumplir con la siguiente expresión (ver anexos):

$$U_r < U_p < U_{impulso}^{[40]} = 480 \text{ V} < 277/480 < 6 \text{ kV.}$$



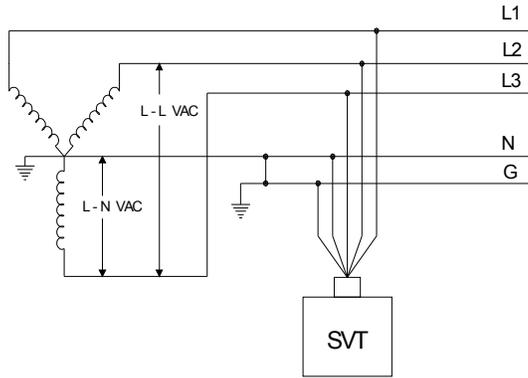
Figura 5.1 Supresores de Sobrevoltajes Transitorios.

Tomando en cuenta los criterios anteriores se recomienda un Supresor de Voltaje **TVSS200-277/480-3GY** y se conectará uno por cada celda, es decir tres supresores en total.

Las Características Técnicas que debe tener el Supresor de Voltaje Transitorios recomendado son:

- Capacidad de sobrevoltaje: 200 kA.
- Configuración de Fuerza: 277/480-3GY = 480Y/277, Neutro a Tierra, 4 Cables + Tierra.
- Método de conexión: Paralelo.
- Modalidades de protección: L-N, L-G, N-G, L-L
- Tipo de Caja: Superficie NEMA 4/12 Ambiente Operativo: -40°C a +60°C 5% - 95% de humedad sin condensación.
- Voltaje de Supresión máximo de 2,200 V para una onda de 8/20 ms.
- Maneja Eventos repetitivos de hasta 6500 impulsos de 10 kA, y un solo evento de 200 kA.
- Interruptor de desconexión integrado.
- Máxima distancia de conexión del equipo a tierra de 50 cm.

- Tiempo de respuesta: < 5 nanosegundos.



El supresor de sobrevoltajes transitorios se conecta en paralelo brindando protección de línea a línea, línea a neutro, línea a tierra y neutro a tierra para transformadores con secundario conectado en estrella y neutro solidamente conectado a tierra.

Figura 5.2 Esquema de Conexión del Supresor de Sobrevoltajes Transitorios.

5.2 Apartarrayos de Baja Tensión.

El apartarrayos es un dispositivo que se utilizará para proteger al arrancador suave de altas tensiones transitorias provocadas por maniobras eléctricas y a la vez limitar la amplitud y duración de la corriente del rayo a tierra, por esto se encuentra conectado entre línea y tierra. Este es más robusto que el supresor de sobrevoltajes transitorios por lo que puede ser sometido a picos de sobretensión más grandes durante tiempos más largos, aunque su tiempo de respuesta a la sobretensión es más prolongado.

Las funciones de un apartarrayos son:

- Limitar los sobrevoltajes que se presenten en sus terminales.
- Presentar una baja impedancia para facilitar el paso de la corriente del rayo a tierra.
- Auto restablecerse después que la onda de sobrevoltaje ha pasado.

5.2.1 Selección del Apartarrayo de baja tensión.

La selección de un apartarrayo para protección contra sobretensiones de origen atmosférico y por maniobras eléctricas debe estar de acuerdo con el criterio de protección establecido para una instalación determinada en función de los parámetros de coordinación de aislamiento, es decir, se debe verificar que este cumpla con los requerimientos establecidos por el arrancador suave.

Las propiedades importantes para la selección de un apartarrayo son:

- Tensión nominal del apartarrayo.
- Corriente nominal de descarga.

La tensión nominal del apartarrayo (V_n) se calcula de la siguiente manera ^[39]:

$$V_n = K_e * V_{max}. \quad [5-1]$$

Donde:

V_{max} : Tensión máxima de trabajo del arrancador suave.

V_n : Tensión nominal de trabajo.

K_e : Factor de conexión a tierra. Para sistemas con neutro conectado solidamente a tierra se utiliza un factor de 0.8.

Para el caso del arrancador suave marca Danfuss modelo MCD 3220, fabricado para un régimen de trabajo pesado, presenta como tensión máxima de trabajo 690 V.

$$V_n = 0.8 * 690 \text{ V.}$$

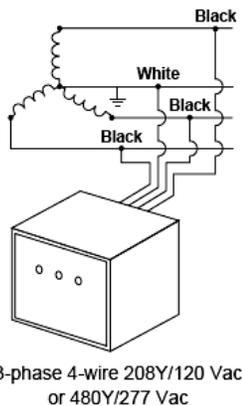
$$V_n = 552 \text{ V.}$$

Con este voltaje nominal de operación del apartarrayo seleccionamos del catálogo del fabricante **SQUARE D** un apartarrayo de 600 VAC modelo SDSA 3650 con las siguientes características técnicas:



- Uso en interiores y exteriores.
- Corriente transitoria máxima: 40 kA/fase.
- Clasificación de la caja: Tipo 4X.
- Método de conexión: Paralelo, conductor trenzado calibre 12 AWG.
- Fusión térmica: Si
- Temperatura de funcionamiento: -40 °C ~ +70 °C.
- Frecuencia de funcionamiento: 50 / 60 Hz.

Figura 5.3 Apartarrayo de Baja Tensión.



5.2.2 Forma de conexión del Apartarrayo.

Como se podrá apreciar el apartarrayo se conecta en el lado secundario del transformador de alimentación, su forma de conexión es entre línea y tierra, para ello este modelo presenta cuatro terminales, tres de ellas para cada fase y una terminal común conectada a tierra.

Figura 5.4 Esquema de Conexión del Apartarrayo de baja Tensión.

Este modelo sólo puede ser utilizado en sistemas con neutro conectado solidamente a tierra, tal como es el caso del transformador que alimenta a los equipos de la torre de enfriamiento.

5.3 Protección contra Cortocircuito.

La protección contra cortocircuito se realizará a través de fusibles, en el caso de la protección del bloque de tiristores del arrancador suave se utilizará fusibles para semiconductores y para proteger las fases de alimentación se utilizará fusibles convencionales.

5.3.1 Protección para Semiconductores.

Esta protección se realiza mediante fusibles para semiconductores. El tamaño y la capacidad de estos fusibles es una recomendación del fabricante. No obstante, se revisará como caso de estudio la protección del modelo del arrancador recomendado:



Se recomendó un Arrancador Suave marca Danfuss con capacidad para gobernar un motor de potencia mecánica de 250 HP. El modelo correspondiente es el MCD3220; el fabricante de este modelo recomienda un fusible para semiconductores marca **Bussman modelo 170M4016** (ver anexos).

Figura 5.5 Fusible Ultrarrápido para semiconductores.

Para la utilización de otros fusibles que no sean los que recomienda el fabricante, se toman en cuenta los propios datos del arrancador suave:

$I_{nom} = 353 \text{ Amp.}$ (ver anexos).

La corriente nominal del fusible no excederá a I_{nom} , con esta corriente se selecciona de entre las familias de curvas corriente tiempo inverso un fusible para protección de semiconductores.

5.3.2 Protección de Fases.

Esta se realizará mediante fusibles convencionales para su selección se toma en cuenta la letra de código del motor, la cual indica la potencia de entrada en condiciones de rotor bloqueado en función de su propia potencia nominal. La letra de código se utiliza para determinar la adecuada corriente de cortocircuito del motor. Dado que los motores de la torre de enfriamiento tienen letra de código F, el dimensionamiento de la protección contra cortocircuito es el siguiente:

$$F_{vm} = 2.5 * I_n. \text{ (ver anexos).}$$

[5-2]

$$F_{vm} = 2.5 * 230.$$

$$F_{vm} = 575 \text{ A.}$$

F_{vm} : Fusible valor máximo.

I_n : corriente nominal del motor.

Se recomienda utilizar un fusible de 400 A con una característica "retardada". Estos fusibles se usan especialmente para la protección de motores asíncronos con rotor jaula de ardilla, debido a que soportan los picos de corriente que estos absorben en el momento de arranque.

Como su operación depende de la generación de calor por efecto Joule, se obtiene una característica de función intensidad-tiempo del tipo inversamente proporcional, de manera que ante una elevada corriente opera en un tiempo muy reducido, y ante una corriente ligeramente superior a la nominal opera en un tiempo más prolongado. Un aspecto que no debe olvidarse al seleccionar un fusible es que su capacidad de ruptura no debe ser inferior a la calculada en su punto de utilización a la tensión nominal.

5.4 Protección contra Sobrecarga.

Esta se realiza mediante relevadores de sobrecarga tipo bimetalico, y se calcula de la siguiente manera:

$$R_{\text{sobrecarga}} = 1.25 * I_{\text{nom del motor}}. \quad [14] \quad [5-3]$$

$$R_{\text{sobrecarga}} = 1.25 * 230 \text{ Amp}$$

$$R_{\text{sobrecarga}} = 287.5 \text{ Amp.}$$

Se recomienda utilizar un relevador de sobrecarga de 250 A.

5.5 Interruptores de Potencia.

Se utilizarán dos tipos de interruptores, un interruptor de potencia general que alimentará las tres celdas y un interruptor de tres posiciones para la derivación de cada motor.



5.5.1 Interruptor General de Potencia.

Es un dispositivo de construcción compacta que puede realizar funciones de conexión o desconexión, protección contra cortocircuito y contra sobrecarga. Para su selección se suma la corriente nominal de cada motor:

$$I_t = I_{n1} + I_{n2} + I_{n3} \quad [5-4]$$

$$I_t = 230 + 230 + 230$$

$$I_t = 690 \text{ A.}$$

Figura 5.6 Interruptor de Potencia.

5.5.2 Corriente nominal del interruptor.

$$I_n = I_t * 2. \text{ (ver anexos).} \quad [5-5]$$

$$I_n = 690 * 2$$
$$I_n = 1380 \text{ A.}$$

Se recomienda emplear un interruptor con una corriente nominal de 1250 A.

5.5.3 Interruptor de tres posiciones.

Este interruptor estará ubicado en la derivación de cada motor, en una posición alimentará al motor a través del arrancador suave y en la otra posición a través del arranque directo. Esta disposición facilita el mantenimiento del arrancador suave sin tener que dejar fuera de servicio al motor.

Su selección se basa en la corriente nominal del motor:

$$I = 2 * I_n. \text{ (ver anexos).} \quad [5-6]$$

$$I = 2 * 230$$

$$I = 460 \text{ A.}$$

Por tanto se propone utilizar un interruptor manual de tres posiciones de 400 A.

5.6 Relé de Asimetría de Tensión.

Este tipo de protección brinda un seguimiento continuo de la tensión en las tres fases de alimentación a los motores de la torre de enfriamiento, en donde la simetría, la secuencia de fases y la presencia de fases deben ser correctas por razones de funcionamiento y seguridad. El relé determina el valor de las tres tensiones y la posición de las fases acusando la existencia de asimetrías y fallos de fase.

El disparo del relé se produce en alguno de los siguientes casos:

- Desequilibrio de tensión entre las fases.
- Secuencia de fases incorrecta.
- Pérdida de fase.
- Variación en la frecuencia.

La tensión trifásica de la red de alimentación a monitorear es el criterio a tomar en cuenta para la selección de este tipo de protección ya que los diferentes parámetros son ajustables en función de la misma.

Se recomienda utilizar un Relé de Asimetría de Tensión con un voltaje de alimentación trifásica de 480 V, con contacto de salida conmutado, NA/NC.



Figura 5.7 Rele de Asimetría de Tensión.

Este relé de asimetría de tensión deberá tener las siguientes características técnicas:

- Tensión nominal: 208 ~ 575 VAC.
- Frecuencia nominal: 50/60 Hz, $\pm 5\%$.
- Límites de funcionamiento: 0.8 ~ 1.1 Vn.
- Potencia consumida: 28 VA máximos.
- Potencia disipada: 2.5 W máximo.
- Disparo por caída de fase: 70% de la tensión controlada.
- Tiempo de rearme: 500 ms.
- Tiempo de disparo por falta de fase: 60 ms.
- Sección del conductor de conexión: 24 ~ 12 AWG.
- Temperatura ambiente de operación: $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

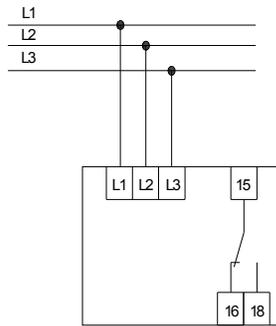


Figura 5.8 Esquema de Conexión del Rele de Asimetría de Tensión.

El relé se conecta en paralelo, como se aprecia en la gráfica, la tensión a controlar se aplica a los terminales L1, L2, L3 y proporciona también la alimentación al equipo, la salida es un contacto conmutado que en caso de fallo conmutará sus contactos.

5.7 Selección de Contactores.

5.7.1 Contactores de Fuerza

Los arrancadores suaves pueden funcionar con o sin contactor de línea, el uso de contactor de línea o una desconexión física similar proporciona un mejor estado de desconexión que el generado por los tiristores del arrancador suave, esto mejora la seguridad del operador. El uso de un contactor de línea también elimina la posibilidad de interferencias por el suministro de perturbaciones de corriente que dañan los tiristores del arrancador suave cuando están desconectados.

Se utilizará un contactor de línea que alimentará al arrancador suave y un segundo contactor que tiene la función de aislar de tensión al arrancador suave cuando el motor sea accionado por el arranque directo.

El modelo seleccionado del arrancador suave se debe usar para controlar directamente el funcionamiento de los contactores, ajustando el relé programable de salida A o B, para la función contactor de línea.

Ambos contactores tendrán las mismas características y su criterio de selección es el siguiente:



Tomando en cuenta la potencia y la corriente nominal del motor a plena carga, (200 HP, 230 A), se selecciona un contactor trifásico 480 VAC con una capacidad de 400 A.

Figura 5.9 Contactor Trifásico de Potencia.

5.7.2 Contactores para Control.



Los contactores para control se utilizarán como un elemento auxiliar en los circuitos de: termistor de protección contra sobretensión, dispositivo de protección contra vibraciones, transferencia de voltaje para la alimentación de la Fuente de 24 VDC y en los circuitos de señalización y alarma.

Se recomienda utilizar un contactor para control con 4 contactos, 2 NA+ 2 NC, 6 A, 240 V.

Figura 5.10 Contactor Auxiliar para control.

5.8 Diseño de la Red de Tierra.

5.8.1 Introducción.

Todos los sistemas de distribución eléctrica deben estar apropiadamente conectados a tierra para asegurar la seguridad del sistema. Otro beneficio importante de una conexión a tierra correcta es que garantiza una operación confiable de los equipos electrónicos.

La electricidad toma la ruta de la menor *Resistencia*. Una persona que entra en contacto con un sistema eléctrico no conectado a tierra se volvería probablemente la conexión a tierra misma y recibiría un choque de alta tensión.

La conexión a tierra es exactamente lo que su nombre indica: una conexión eléctrica con la tierra. Se logra habitualmente fijando un *Conductor* a un electrodo metálico (varilla) que es enterrado después en la tierra. Esta conexión proporciona una *Ruta de Conexión a Tierra* para todo el sistema de distribución de energía eléctrica.

Puede ser fácil establecer la relación entre la conexión a tierra y la protección contra sobrevoltajes. La conexión a tierra del sistema ofrece una ruta a tierra que puede ser seguida por la onda de sobrevoltaje, evitando daños al sistema. Si la conexión a tierra no es sólida, la protección contra sobrevoltajes no funcionará apropiadamente. De hecho, aproximadamente el 80% de los problemas de calidad de la energía se relacionan con problemas de conexión a tierra.

La eficacia de la conexión a tierra se relaciona también directamente con la resistencia en el sistema. Entre menor es la resistencia de conexión a tierra, más eficaz será dicha conexión a tierra. Puesto que la conexión a tierra es tan vital para la seguridad de un sistema de distribución de energía eléctrica, debe ser revisada y probada regularmente.

La disposición de una red de tierra proporciona seguridad para el personal y adicionalmente respalda las protecciones contra sobrevoltajes. A esta se conecta el neutro del sistema, los apartarrayos, los cables de guarda, las estructuras metálicas, los tanques de los aparatos y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra.

5.8.2 Funciones de la Red de Tierra.

- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia, para la circulación de las corrientes de tierra, ya sea que se deban a una falla de cortocircuito o a la operación de un apartarrayo.
- Evitar que durante la circulación de estas corrientes de tierra puedan producirse diferencias de potencial entre los distintos puntos de la instalación.
- Proporcionar mayor confiabilidad y continuidad a las instalaciones eléctricas existentes, resguardando el objetivo primordial de las mismas.

5.8.3 Calculo de la red de tierra. ^[37]

Se tomará como área básica la ocupada únicamente por las celdas de los arrancadores suaves, con la cual se diseña la red de tierra.

- Area cubierta por la red de tierra: el área tendrá forma rectangular con dimensiones de cuatro metros de largo y dos metros de ancho.
- La disposición de los conductores será la siguiente: Conductores transversales que estarán espaciados cada metro y los conductores paralelos estarán espaciados 0.5 m.
- Superficie del área a cubrir.

$$F = 4m * 2m$$

[5-7]

$$F = 8 m^2.$$

- Radio equivalente de la superficie total.

$$r_s = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = \sqrt{\frac{8}{3.14}} \quad [5-8]$$

$$r_s = 1.6m$$

- Longitud del cable: resultan cinco conductores transversales y cinco conductores paralelos.

5 conductores de 2 metros: 10 metros
 5 conductores de 4 metros: 20 metros.
 Longitud total L = 30 metros.

- Corriente de Corto Circuito a tierra: $I_{cc} = 30 \text{ kA}$. [6]
- Factor de Decremento: $D = 1$. [37]
- Factor de crecimiento del sistema: $f_c = 1$

- Corriente de cortocircuito para el diseño de la red:

$$I'' = D * f_c * I_{cc}. \quad [5-9]$$

$$I'' = 30 \text{ kA}.$$

- Área de los conductores: Para una duración de la falla de 0.5 seg. con uniones con abrazaderas se tiene un valor de 8.5 como una constante.

$$A = 8.5 * I'' \quad [5-10]$$

$$A = 8.5 * 30$$

$$A = 255,000 \text{ CM (milésimas de pulgadas circulares).}$$

Por tanto los conductores de conexión al equipo será un calibre 250 MCM.

Para los conductores propios de la malla haciendo las conexiones en los nodos se utiliza cable de cobre desnudo calibre 1/0 AWG.

- Resistencia de la red.

Resistividad del terreno: $\rho = 35 \Omega/m$ lo cual corresponde a un terreno arenoso y húmedo (terreno con las mismas características donde está ubicada la torre).

$$r = \frac{\rho}{4r_s} + \frac{\rho}{L} = \frac{35}{4*1.6} + \frac{35}{30} \quad [5-11]$$

$$r = 6.6 \Omega$$

Se recomienda realizar un tratamiento del suelo para bajar la resistividad del mismo y por ende bajar la resistencia total de la red de tierra.

5.9 Selección de Cables de Fuerza.

El cálculo de la sección transversal de los conductores que alimentará a los motores de la torre de enfriamiento, representa en gran medida la seguridad y el buen funcionamiento de la instalación.

Los tres motores de la torre se encuentran ubicados a lo largo de la misma a una distancia equidistante entre ellos. Siendo el mas cercano al área del panel de alimentación el motor A.

5.9.1 Criterios de Selección del Cable de Fuerza.

- 1- Tipo de ambiente al que estará expuesto.
- 2- Capacidad de conducción de corriente, para las condiciones de instalación.
- 3- Caída de Voltaje permitida.
- 4- Capacidad para soportar las corrientes de cortocircuito.
- 5- Calibre mínimo permitido para aplicaciones específicas.

Como parámetro de cálculo se tomará el motor más distante del panel de alimentación, el cual se encuentra a una distancia de 50 metros, el calibre obtenido se mantendrá para los otros dos motores. Las normas técnicas recomiendan como caída máxima desde el transformador hasta la carga un 5%, distribuida de la siguiente manera ^[14]:

- Del transformador al panel de alimentación: 2 %
- Del panel de alimentación a la carga (motores de la torre) : 3 %

La caída de tensión se calcula de la siguiente forma ^[35]:

$$e = \frac{2C \sum IL}{SV} \quad [5-12]$$

Donde:

- e : Porcentaje de caída de tensión.
C : Constante ($\sqrt{3}$ para carga trifásica y 2 para cargas monofásicas y bifásicas)
I : Corriente (A)
L : Longitud del conductor (mts)
S : Sección transversal del conductor (mm²)
V : Voltaje en el lado de suministro (V).

5.9.2 Procedimiento para Seleccionar los cables de fuerza:

Corriente Nominal del motor = 230 Amp.(I_{Nominal})

Corriente que soporta el conductor = Constante * I_{Nominal}. ^[14] [5-13]

Corriente que soporta el conductor = 1.25 * 230 A = 287.5 A

Se selecciona de la Tabla Capacidad de corriente de conductores de cobre un calibre de 300 MCM, del tipo THHN, el cual está fabricado para ambientes secos o húmedos con una temperatura máxima en el conductor de 90°C.

Una vez obtenidos estos datos se procede a calcular la caída de tensión:

$$e = \frac{2\sqrt{3} * 230A * 50mts}{152.01mm^2 * 460V} = \frac{39837}{69924} = 0.5\%$$

Por lo tanto se cumple con la caída establecida.

Siendo este el motor mas alejado del panel de alimentación el porcentaje en la caída de tensión se cumplirá para los otros dos motores, compartiendo el mismo calibre y el mismo tipo, es decir 300 MCM THHN.

5.10 Selección de los Cables del Circuito de Control.

El sistema de control propuesto en el diseño contempla circuitos con diferentes niveles de voltaje y corriente, en base a esto, la especificación de estos cables de control estará en dependencia de las magnitudes del circuito en el que serán utilizados.

Dentro del diseño de control se contemplan dos circuitos:

- Circuito de mando y señalización: es el cableado que irá desde el Modulo Lógico Programable hasta el Arrancador Suave, este circuito presenta un nivel de voltaje de 24 VDC y una corriente de 8 mA para las señales de control, el circuito de señalización tiene un voltaje de 230 VAC y una corriente de 50 mA.
- Circuito de Señales Analógicas: es el cableado que irá desde los diferentes puntos de medición de los parámetros de accionamiento de los ventiladores, hasta el Modulo Lógico Programable, este circuito tiene un nivel de voltaje de 24 VDC y un rango de corriente de 4....20 mA.

5.10.1 Consideraciones para la Selección de los Cables del Circuito de Control.

Para la selección de los cables del circuito de control se deben analizar los criterios para definir la sección transversal de los mismos así como las características del circuito con el fin de determinar la caída máxima de tensión permisible. La caída de tensión para cables de control no deberá ser mayor a 2% ^[14].

La caída de tensión se calcula a través de la siguiente formula ^[35]:

$$e = \frac{2C \sum IL}{SV}$$

En este caso, al tratarse de un circuito monofásico, C toma el valor de 2.

Aplicando la formula de caída de tensión para diferentes calibres de conductores, se introducen los datos del circuito correspondiente y se consideran las distancias máximas para ambos circuitos obteniendo:

Cables desde el Modulo Lógico Programable hasta al Arrancador Suave					
Calibre AWG	Sección Conductor (mm ²)	Distancia (mts)	Tensión (VDC)	Corriente (A)	Caída (%)
18	0.82	150	24	0.008	0.2439
18	0.82	200	24	0.008	0.3252
16	1.31	150	24	0.008	0.1527
16	1.31	200	24	0.008	0.2036
14	2.08	150	24	0.008	0.0962
14	2.08	200	24	0.008	0.1282
12	3.31	150	24	0.008	0.0604
12	3.31	200	24	0.008	0.0806

Cables desde los puntos de medición de parámetros hasta el Modulo Lógico Programable.					
Calibre AWG	Sección Conductor (mm ²)	Distancia (mts)	Tensión (VDC)	Corriente (A)	Caída (%)
18	0.82	150	24	0.004	0.1220
18	0.82	150	24	0.020	0.7317
16	1.31	150	24	0.004	0.0763
16	1.31	150	24	0.020	0.4580
14	2.08	150	24	0.004	0.0481
14	2.08	150	24	0.020	0.2885
12	3.31	150	24	0.004	0.0302
12	3.31	150	24	0.020	0.1813

Cables para el Sistema de Señalización y Alarma					
Calibre AWG	Sección Conductor (mm ²)	Distancia (mts)	Tensión (VAC)	Corriente (A)	Caída (%)
12	3.31	150	230	0.05	0.0394
14	2.08	150	230	0.05	0.0627
16	1.31	150	230	0.05	0.0996
16	1.31	150	230	0.05	0.0996
18	0.82	150	230	0.05	0.1591

Tablas 5.1 Cálculo de Conductores para los circuitos de control.

Como se podrá apreciar en las tablas presentadas, para los diferentes calibres propuestos se cumple con la caída de tensión permisible. Por efecto de costos y facilidad de montaje se escogerá:

- Un cable calibre 18 AWG del tipo apantallado, para el circuito desde el Modulo Lógico Programable hasta al Arrancador Suave, se utilizará un cable de 4 pares, que irá desde la sala de controles hasta la torre de enfriamiento. (ver anexos).
- Un cable calibre 18 AWG del tipo apantallado, para el circuito de medición de parámetros hasta el Modulo Lógico Programable, se utilizará un cable de 2 pares para cada parámetro. (ver anexos).
- En el caso del Sistema de Señalización y Alarma, tomando en cuenta la sección máxima permitida por el fabricante de los dispositivos a utilizar se selecciona un conductor calibre 16 AWG flexible.

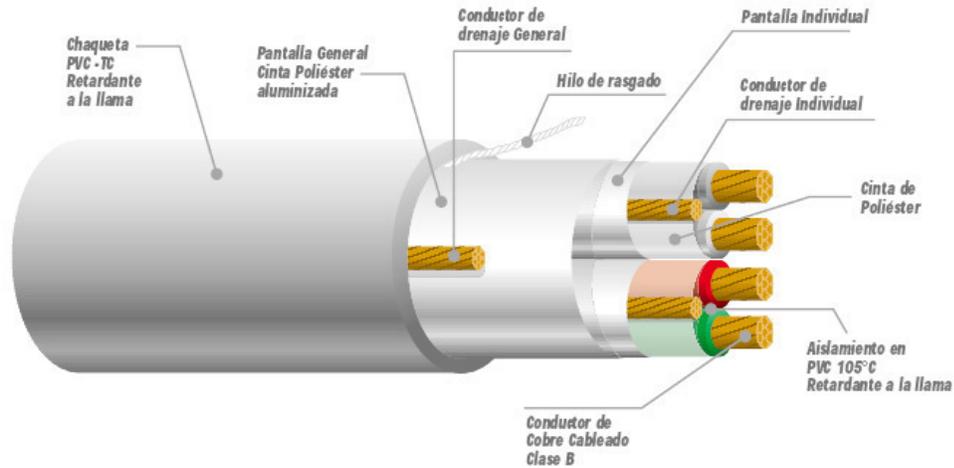


Figura 5.11 Cable de Control con conductores a pares, apantallamiento individual y Pantalla general.

5.11 Protecciones del Circuito de Control. (ver diagrama de control)

I1: Interruptor general de Programa, la instalación deberá disponer de un interruptor automático general de distribución según exige la norma EN 60.204 ^[8], este deberá ser un interruptor tripolar, para su selección se tomará en cuenta la corriente de entrada máxima de la fuente de alimentación:

Corriente nominal del interruptor.

I_m = Corriente máxima de entrada de la fuente de alimentación de 24 VDC. (ver características técnicas de la fuente de alimentación recomendada. Capítulo IV)

$$I_n = I_m * 2 \text{ (ver anexos).} \quad [5-14]$$

$$I_n = 1.3 * 2$$

$$I_n = 2.6 \text{ A.}$$

I2: Interruptor de la alimentación en DC, procedente de las baterías, se utiliza para proteger la instalación cuando esta sea alimentada a través de las baterías en serie, en caso que falle la alimentación en corriente alterna, tendrá el mismo valor de corriente nominal que el interruptor general con la diferencia que será un interruptor bipolar para corriente directa.

I3: Interruptor de la alimentación en AC, dado que, en el cableado del MLP y sus periféricos existirán ramificaciones de más de 3 metros con secciones menores a las de la línea general deberá de disponerse de otro interruptor automático ^[8], este será un interruptor bipolar para corriente alterna con la misma corriente nominal que el interruptor general.

I4: Interruptor del primario del transformador para alimentación de control, será un interruptor bipolar, para su selección se tomará la corriente nominal del primario del transformador:

Corriente nominal del interruptor.

I_p = Corriente nominal del primario del transformador. (ver características técnicas del transformador para control a usar. Capítulo IV)

$$I_n = I_p * 2 \quad [5-15]$$

$$I_n = 0.52 * 2$$

$$I_n = 1.04 \text{ A.}$$

I5: Interruptor del secundario del transformador para alimentación de control, será un interruptor de un solo polo, se selecciona en base a la corriente del secundario del transformador:

Corriente nominal del interruptor.

I_s = Corriente nominal del secundario del transformador. (ver características técnicas del transformador para control a usar. Capítulo IV)

$$I_n = I_s * 2 \quad [5-16]$$

$$I_n = 1 * 2$$

$$I_n = 2 \text{ A.}$$

I6: Interruptor de protección de los circuitos de alimentación del MLP y de los circuitos de entrada, estos circuitos deberán disponer de un interruptor de protección independiente del que protege la fuente de alimentación ^[8], serán interruptores magnetotérmicos para corriente directa de un solo polo, se seleccionan en base a la corriente máxima de salida de la fuente de alimentación:

Corriente nominal del interruptor.

I_m = Corriente máxima de salida de la fuente de alimentación de 24 VDC. (ver características técnicas de la fuente de alimentación recomendada. Capítulo IV)

$$I_n = I_m * 2 \quad [5-17]$$

$$I_n = 2.5 * 2$$

$$I_n = 5 \text{ A.}$$

6. Estudio técnico – económico del Proyecto de Implementación de Arrancadores Suaves en la Planta Managua.

6.1 Introducción.

Este capítulo tiene como objetivo cuantificar el costo total del proyecto de Implementación de Arrancadores Suaves en la Planta Managua Gecsa, así como también poder predecir el tiempo de recuperación de la inversión inicial de dicho proyecto a través de las estrategias de ahorro propuestas utilizando métodos de análisis económicos.

6.2 Beneficios y Ventajas.

Actualmente el arranque de los motores que accionan los ventiladores de la torre de enfriamiento, no es satisfactorio desde el punto de vista técnico-económico, ya que el arranque a tensión plena (arranque directo) de estos tres motores presenta problemas de tipo eléctrico y mecánico porque origina picos excesivos de corriente, provocando al mismo tiempo caídas de tensión también inaceptables produciendo trastornos en la red, lo que ocasionalmente podría afectar a otros equipos. Otro problema importante es que estos motores únicamente pueden ser accionados de forma local, lo cual es un serio problema pues la distancia a la que se encuentra la torre del área de controles es de 150 mts, por lo que se presta a funcionamiento innecesario de los motores principalmente durante la madrugada donde la temperatura es baja y solo se necesitan dos ventiladores para mantener la temperatura del agua de circulación.

Los problemas mecánicos causados por el hecho de que el par del motor en el arranque generalmente es mucho mayor al demandado por la carga provocan con el tiempo desgaste de acoplamientos, caja de engranajes y cojinetes; al mismo tiempo al producirse el arranque de cada uno de los ventiladores hay cierta vibración en la estructura de madera de la torre, a lo que se suma su tiempo de uso (6 años aproximadamente) lo que ha provocado hasta la fecha el cambio de partes que conforman la estructura de la torre, como vigas tanto horizontales y verticales, y soportes donde son montados los equipos

Ante lo planteado anteriormente, la mejor solución para resolver el problema del accionamiento de los tres ventiladores, es la aplicación de arrancadores suaves de estado sólido, estos dispositivos reducen la tensión de alimentación al motor y por ende los picos de corriente en el arranque, manejándola de forma gradual y controlada hasta que el motor alcanza su velocidad nominal.

Con respecto a los problemas en la estructura de madera de la torre, es vital reducir las vibraciones, lo cual se logra con la implementación de arranques suaves a cada uno de los tres motores reduciendo los movimientos bruscos al arrancar, esto conlleva al aumento de la vida útil de la torre de enfriamiento.

Aparte de esto se tendrá un control automático de la torre, garantizando la eficiencia tanto de la misma torre como de la unidad termoeléctrica. Es decir, que el accionamiento de cada ventilador obedecerá a parámetros de temperatura, analizados por el LOGO, para luego dar la orden de marcha o paro.

Otra ventaja importante es el trabajo equitativo durante el año para los tres ventiladores, ya que el diseño contempla el mismo régimen de funcionamiento para los tres motores, obteniendo un aprovechamiento óptimo y un desgaste equitativo de los mismos.

Al mismo tiempo, el diseño de control a través del Módulo Lógico Programable, permite la interacción entre el operador y la automatización para un mejor control del proceso. En cualquier momento el operador de turno decidirá cuando la automatización entra o sale de gobernar a los tres ventiladores según lo estime conveniente.

Dentro del diseño del proyecto, también se contempla la posibilidad de arrancar los motores de los ventiladores de forma directa, en caso de presentarse algún problema tanto en el LOGO como en el Arrancador Suave, o simplemente cuando se requiera realizar mantenimiento en los mismos.

6.3 Inversión Inicial del Proyecto.

La inversión inicial la constituye el desembolso de dinero que tendrá que realizar la empresa en concepto de gastos por la adquisición de los equipos y materiales necesarios, así como los costos por mano de obra para la ejecución del proyecto. (ver anexos).

Equipos / Materiales	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Arrancador Suave Marca Danfuss Modelo Mcd 3220	3	5287	15861
LOGO 24/12 RC SIEMENS	3	117.65	352.95
Módulos de expansión para entradas analógicas AM2 24 DC	6	76	456
Fuente de Alimentación de tres salidas a 24 VDC, 30 Watts	1	200	200
Transformador monofásico para control 480/240, 250 VA	3	30	90
Interruptor tripolar, 230 VAC, 2.6 A	1	20	20
Interruptor para 24 VDC, 2.6 A	3	18	54
Interruptor bipolar para 125 DC, 2.6 A	1	30	30
Interruptor bipolar para 240 AC, 2.6 A	1	30	30
Interruptor de un polo para 24 DC, 5 A	6	18	108
Interruptor bipolar para 480 AC, 1 A	3	30	90
Interruptor de un polo monopolar para 240 AC, 2 A	3	15	45
Interruptor de potencia trifásico para 480 VAC, 1250 A	1	1000	1000
Interruptor trifásico de tres posiciones, 480 VAC, 400 A	3	480	1440
Apartarrays de baja tensión 600 VAC, 60 Hz	1	50	50
Supresor de voltajes transitorios 480Y, 4 cables + tierra, 200 kA	3	1000	3000
Rele de asimetría de Tensión 480 VAC, Salida con contacto conmutado.	3	155	465
Rele contra Sobrecarga tipo bimetalico, 480 VAC, 250 A	3	40	120
Fusible Acción retardada, 400 A	9	50	450
Fusible para semiconductores Bussman modelo 170M4016	9	110	990
Contactador Trifásico 480 VAC, 400 A, bobina a 240V	6	800	4800
Contactador para control Monofasicos 240 VAC	7	30	210
Lámparas para señalización Monofásicas 240 VAC, 6 Watts	18	13	234
Pulsadores Voltaje de operación 24 VDC	6	12	72
Pulsadores Voltaje de operación 240 VAC	3	30	90
Termocuplas Tipo J, rango de Temperatura: 180 - 750°C	5	36	180
Convertidores Alimentación 24 VDC, Salida estándar 4 - 20 mA	5	166	830

Conductor 300 MCM THHN, (metros)	300	15	4500
Cable para control tipo apantallado, 18 AWG, 3 pares, (metros)	400	1.5	600
Cable flexible, 16 AWG, (metros)	7500	0.16	1200
Gabinetes NEMA 3R Alto=1600, Ancho=1000, Profundidad=500 (mm)	3	1000	3000
Mano de Obra, Materiales e Instalación.	--	--	5000
Inversión Total.			45,567.95

Tabla 6.1 Costo de Equipos, materiales y mano de obra.

6.4 Compra - Venta de Energía en la Unidad Termoeléctrica de la Planta Managua.

Los agentes económicos dedicados a la actividad de generación de energía, podrán suscribir contratos de compra-venta de energía eléctrica con distribuidores y con grandes consumidores, así mismo podrán vender total o parcialmente su producción en el mercado de ocasión y exportar energía eléctrica.^[9]

La Central Termoeléctrica Managua como agente económico Generador, participa dentro del Mercado de Ocasión, que son las transacciones de oportunidad de energía y potencia eléctrica que se realizan a precios sancionados en forma horaria en función del costo económico de producción y que no han sido establecidas mediante contratos.

La energía que la planta necesita para arrancar sus equipos auxiliares y para operar de forma continua, se le es descontada de la energía que esta vende en el Mercado de Ocasión o a la distribuidora, al mismo precio al que fue realizada la transacción, en vista de esto, la factibilidad del proyecto de Automatización e Implementación de Arrancadores Suaves radica en base al criterio que, entre menos energía consuma la planta en sus equipos auxiliares y mas eficientes sean sus procesos e instalaciones, más energía podrá ofertar en el Mercado de Ocasión incurriendo en mayores ganancias para la misma, además de los beneficios que se obtienen al tener un arranque suave reduciendo el desgaste tanto en los equipos eléctricos, en las partes mecánicas y en la misma estructura de la Torre de Enfriamiento, haciendo menores los costos por mantenimiento.

6.5 Estrategias de Ahorro del Proyecto.

6.5.1 Optimización del Consumo de Energía de los motores que accionan los Ventiladores de la Torre de Enfriamiento.

Los equipos de la Torre de Enfriamiento son alimentados a través de un transformador de 800 kVA, donde el mayor consumo lo representan los tres motores que accionan los Ventiladores, a continuación se presenta una tabla donde se aprecia el consumo mensual en mW-H de los equipos de la torre de enfriamiento en comparación con la Generación de la unidad Termoeléctrica:

ESTUDIO TÉCNICO – ECONÓMICO DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE ARRANCADORES SUAVES EN LA PLANTA MANAGUA.

Generación y Consumo del mes de Diciembre del 2005		
Días	Generación	Consumo
	U N° 3	Torre de Enfriamiento
	mW-H.	mW-H.
1	476.00	13.70
2	179.00	3.4
3	0.00	0.2
4	0.00	0.3
5	252.00	7
6	461.00	9.6
7	577.00	7.4
8	454.00	7.9
9	554.00	7.9
10	503.00	10.6
11	574.00	7.9
12	650.00	9.5
13	700.00	9.1
14	348.00	8
15	677.00	9.1
16	456.00	9.1
17	383.00	9.1
18	505.00	8.2
19	484.00	8.3
20	437.00	7.8
21	530.00	8.5
22	440.00	7.9
23	461.00	7.9
24	405.00	5.6
25	0.00	0.2
26	0.00	0.3
27	0.00	0.3
28	0.00	0.3
29	465.00	8.2
30	521.00	10.9
31	548.00	9.60
Total	12,040.00	213.80

Generación y Consumo del mes de Marzo del 2005		
Días	Generación	Consumo
	U N° 3	Torre de Enfriamiento
	mW-H.	mW-H.
1	682	10.6343
2	605	10.7414
3	648	11.6897
4	549	10.1036
5	583	10.6622
6	432	8.8563
7	625	10.4413
8	673	10.5887
9	626	10.867
10	706	10.7277
11	625	11.0664
12	519	9.5419
13	517	8.6162
14	596	10.5656
15	626	9.8124
16	692	10.9582
17	603	10.3666
18	639	10.3759
19	594	10.6862
20	459	10.8124
21	501	10.325
22	519	9.0376
23	450	9.2759
24	489	10.7032
25	435	10.5479
26	460	10.7141
27	434	7.5992
28	677	10.7385
29	731	10.31
30	635	10.52
31	711	10.5854
Total	18,041.00	318.47

Tabla 6.2 Consumo de los equipos de la torre de enfriamiento en comparación con la generación de la Unidad Termoeléctrica. Datos obtenidos de las lecturas tomadas por los operadores.

Como se podrá observar en las tablas 6.2 el consumo de los equipos de la torre es considerable en comparación con la generación de la unidad, hecho que evidencia la operación de los tres ventiladores aún cuando los parámetros del proceso de enfriamiento no lo ameriten. Siendo estos motores los de mayor consumo, es primordial reducir las horas de trabajo innecesarias de estos equipos. Como se mencionó anteriormente la Unidad Termoeléctrica al entregar 20 mW. al sistema, opera perfectamente con dos ventiladores, al entregar una potencia mayor trabaja con los tres ventiladores. Esta operación se realiza de forma manual y local, el operador de turno se ve obligado a trasladarse hasta la torre ubicada a unos 150 mts de la sala de controles.

Si la unidad entrega 20 mW. como promedio en un día, se tendrán 480 mW-H. por día generados, bajo estas condiciones la unidad debería trabajar con dos ventiladores, los cuales consumirían 7.56 mW-H. al día ya que cada motor consume 0.1576 mW. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se puede observar en las tablas 6.2 un consumo mayor, en correspondencia con la generación de la unidad.

La ubicación de la torre y el fuerte régimen laboral del operador impiden el accionamiento eficiente de los ventiladores. Para el caso del turno diurno la unidad experimenta movimientos de carga por lo que el operador, en este periodo muchas veces decide trabajar con los tres ventiladores de forma permanente aún cuando no sea necesario.

Durante el turno nocturno los movimientos de carga son menos frecuentes (casi nulos según el historial de las hojas de lecturas tomadas de la unidad) aunque por razones de fatiga laboral se dejan innecesariamente trabajando los tres ventiladores.

En vista de esto, y analizando las hojas de lectura, se considera un periodo de utilización innecesaria del tercer ventilador de 5 horas diarias aproximadamente lo que

implica un consumo de 0.788 mW-H. al día, energía que bien podría ser vendida en el mercado de Ocasión.

$$Et = Pn * t \quad [6-1]$$

$$Et = 0.1576mW * 5 h = 0.788 mW - H$$

La energía consumida al año es:

$$Ea = Et * 365 = 0.788 mW - H * 365 \quad [6-2]$$

$$Ea = 287.62 mW - H$$

Entonces, el ahorro anual sería:

$$Aa = Ea * Pm$$

$$Aa = 287.62 mW - H * U\$100 \quad [6-3]$$

$$Aa = U\$ 28,762$$

Horas	Potencia mW.	Total-Día mW-H.	Total-Año mW-H.	Precio Promedio. U\$/ mW-H. en el Mercado de Ocasión	Ahorro Anual U\$.
5	0.1576	0.788	287.62	100	28762

Tabla 6.3 Consumo innecesario del tercer ventilador y ahorro anual.

Con un precio promedio del mW-H. en el mercado de ocasión de U\$ 100 (*ver anexos*), y un consumo innecesario de 287.62 mW-H. al año, se tendría un ahorro anual de U\$ 28762 gracias a la optimización en el accionamiento de los motores controlado por el Módulo Lógico Programable lo cual permitirá una eficiente administración del consumo de dicha energía.

A continuación se presentan los precios reales del mW-H. en el mercado de ocasión determinados por el Despacho Nacional de Carga en los primeros tres meses del año 2006, cuando la Unidad Termoeléctrica de la Planta Managua asume diferente carga.

Unidad Termoeléctrica	Enero					Promedio
	Semana 01	Semana 02	Semana 03	Semana 04	Semana 05	
PMG U3 20 mW	108.70	113.39	111.20	114.16	120.38	113.57
PMG U3 30 mW	102.16	106.56	104.51	107.29	113.14	106.73
PMG U3 42 mW	100.28	104.59	102.58	105.31	111.04	104.76

Febrero						
Unidad Termoeléctrica	Semana 05	Semana 06	Semana 07	Semana 08	Semana 09	Promedio
PMG U3 20 mW	120.38	123.81	121.88	116.84	116.31	119.84
PMG U3 30 mW	113.14	116.35	114.54	109.81	109.31	112.63
PMG U3 42 mW	111.04	114.20	112.42	107.78	107.28	110.54

Marzo						
Unidad Termoeléctrica	Semana 09	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Promedio
PMG U3 20 mW	116.31	117.29	118.45	116.50	119.14	117.54
PMG U3 30 mW	109.31	110.23	111.32	109.49	111.97	110.46
PMG U3 42 mW	107.28	107.28	109.26	107.47	109.90	108.42

Tablas 6.4 Precios en US\$/mW-H en el Mercado de Ocasión. Datos suministrados por el CNDC.

Esta estrategia representa una de las principales fuentes de ahorro del Accionamiento propuesto, por lo que formará parte de la base para el estudio de la recuperación de la inversión inicial.

Se estudiarán otras estrategias de ahorro, pero no serán tomadas en cuenta de forma directa en el cálculo de la recuperación económica, sin embargo estas representan beneficios y ventajas que permitirán un máximo aprovechamiento de la vida útil de los equipos que conforman la torre de enfriamiento, así como la preservación y alargamiento del tiempo de explotación de la misma.

6.5.2 Reducción de los Picos de Demanda Máxima.

Cabe mencionar que la deducción del ahorro en la factura eléctrica reduciendo multas por demanda máxima entra en el contexto de la Planta Managua, pues se necesita cuantificar el consumo de potencia en el momento de arrancar los motores que accionan los ventiladores, en vista de las crecientes exigencias del mercado energético sobre todo del mercado de ocasión y del mayor grado de competitividad que adquiriría la Planta con la optimización de sus equipos. Es importante mencionar que este ahorro será tomado en cuenta en el cálculo del tiempo de recuperación de la inversión inicial.

Los picos de demanda se originan por las altas corrientes que consumen los motores en el momento de arranque. Dado que la corriente de arranque de los motores de la torre de enfriamiento es de aproximadamente 6.5 veces la corriente nominal ($I_{\text{arranque}} = 1512$ Amp.) la potencia demandada al momento de arranque (a tensión plena) es de:

$$Pa = \sqrt{3} * U * Ia * \cos\theta$$

$$Pa = 1.73 * 460 * 1512 * 0.86 \quad [6-4]$$

$$Pa = 1036kW$$

Como se mencionaba anteriormente, **debido a las condiciones actuales de la unidad termoeléctrica se tiene que trabajar con dos ventiladores permanentemente**, y un tercer ventilador será puesto en marcha en dependencia de la variación de los parámetros del proceso. En vista de esto, se tendrá una demanda permanente de 315.2

kW. correspondiente a la potencia de estos dos motores ya que la potencia de entrada a cada motor es de 157.6 kW.

El pico de demanda cuando el tercer motor es arrancador directo a línea, será la suma de la demanda correspondiente a los dos motores en funcionamiento mas la potencia demandada al momento de arranque del motor, así pues:

$$D_{\max} = Pa + Pp$$

$$D_{\max} = 1036 + 315 \quad [6-5]$$

$$D_{\max} = 1351 \text{ kW}.$$

Por otro lado si el motor es arrancador a través de un Arranque suave la corriente de arranque se reduce considerablemente y por ende la potencia demandada en el momento del arranque, en el caso de los motores de la torre de enfriamiento la corriente se reduce hasta 3.5 veces la corriente nominal ($I_{\text{arranque}} = 805 \text{ Amp.}$), la potencia demandada al momento del arranque (a través del arrancador suave) será de:

$$Pa = \sqrt{3} * U * Ia * \cos \theta$$

$$Pa = 1.73 * 460 * 805 * 0.86$$

$$Pa = 551 \text{ kW}.$$

El pico de demanda cuando el tercer motor es arrancado a través del arrancador suave es:

$$D_{\max} = Pas + Pp$$

$$D_{\max} = 551 + 315 \quad [6-6]$$

$$D_{\max} = 866 \text{ kW}.$$

Como se podrá observar la reducción de potencia demandada al momento de arrancar el motor con un arrancador suave es considerable, siendo de 485 kW. menos que con un arranque directo.

Suponiendo que se declare ante la distribuidora que se utilizarán los 800 kVA del transformador que alimenta a los motores de la torre; con el arranque directo se tiene un pico de demanda de 1351 kW, esto implica que se estará sobrepasando la potencia declarada en aproximadamente:

$$1351 - 800 = 551 \text{ kW}.$$

Con el arrancador suave el pico de demanda sobrepasa a la potencia declarada solamente en 66 kW. El cargo por kW. de demanda máxima según el pliego tarifario para industrias con una carga mayor de 200 kW. para uso industrial es de \$ 12 ^[36]. Por lo que el ahorro mensual en multas por pico de demanda máxima sería de:

$$Ah = (551 - 66) * 12$$
$$Ah = 5,820 \text{ dolares.}$$

[6-7]

El ahorro anual es de:

$$Ah = 5,820 * 12$$
$$Ah = 69,840 \text{ dolares}$$

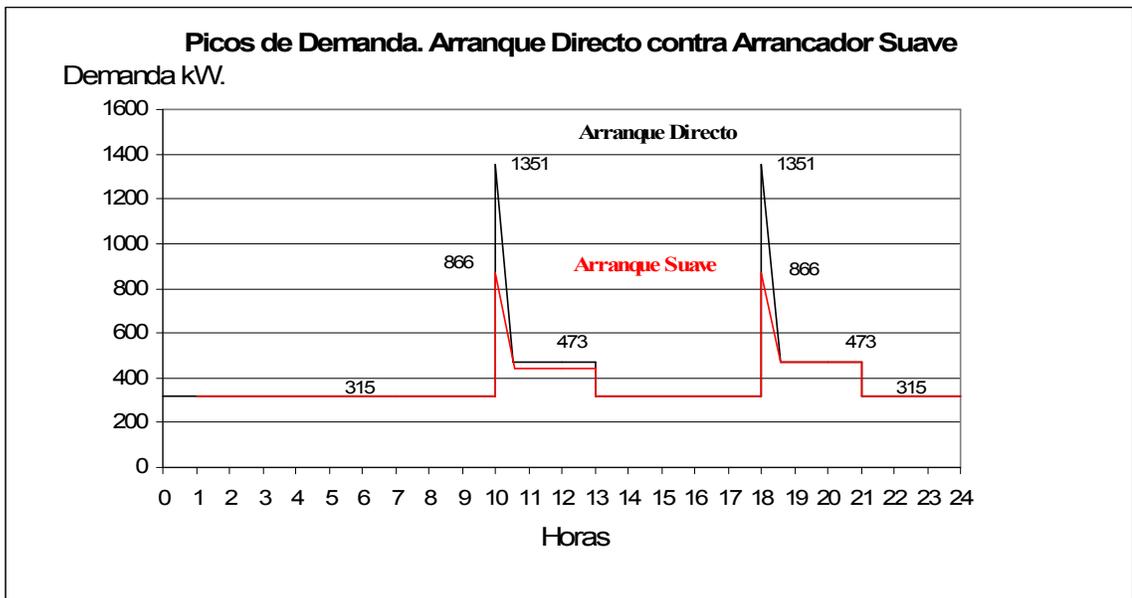


Figura 6.1 Reducción del pico de demanda de los motores de la torre de enfriamiento usando Arrancador Suave.

6.5.3 Minimización de Costos por Vibraciones.

El deterioro de las partes que conforman la estructura de la torre, ocasionado por las vibraciones en el momento de arranque de estos motores representan en la actualidad un problema latente para la Planta Managua, ya que reducen la vida útil de la torre y generan mayores gastos en la reposición de partes dañadas.

El arranque directo a línea de los motores de la torre de enfriamiento somete a fuertes esfuerzos mecánicos y vibraciones a la estructura de madera de la misma, provocando daños en vigas y acoplamientos tanto horizontales como verticales así como soportes donde son montados los equipos y tuberías, bandejas, etc.

El accionamiento de los motores a través del Arrancador Suave elimina los golpes abruptos que se dan en el momento de arranque reduciendo las vibraciones y esfuerzos mecánicos que dañan a la torre de enfriamiento.



Figuras 6.2 En las fotos se aprecian los daños ocasionados en las estructura de la torre debido a las vibraciones que provoca el arranque directo a línea de los motores.

6.5.4 Reducción de Costos por Mantenimiento Correctivo.

Desde que se instaló la torre de enfriamiento en el año 1995, sus equipos han sufrido serios daños debido a las condiciones de funcionamiento en las que estos operan, principalmente todo el mecanismo que conforman los ventiladores.

Estas severas condiciones de trabajo provocaron en el año 2001, el reemplazo casi total del mecanismo del ventilador #2 al cual se le tuvo que realizar el cambio de aspas, rodamientos, engranajes, aceite, etc. elementos que fueron solicitados directamente al fabricante de la torre de enfriamiento, Marley.Inc.

Todo el mantenimiento correctivo de este ventilador, así como los costos por obtención y transporte de los nuevos equipos para reponer los dañados, mano de obra, alquiler de grúa, materiales utilizados, tuvo un valor de U\$ 150,000.

Desde que entró en servicio la torre de enfriamiento, el ventilador #2 es el más afectado; los ventiladores #1 y #3 han sufrido averías y cambios de aspas, los cuales han representado costos menos significativos.

Esta diferencia en cuanto al mantenimiento de los ventiladores, se debe en gran parte a la disposición de trabajo de los mismos, pues son los operadores los que deciden su rotación de trabajo.

Con la Implementación del Accionamiento Eléctrico a través de Arrancadores Suaves controlados por un Módulo Lógico Programable se alarga el mantenimiento correctivo de los ventiladores y se logra un control eficiente de los mismos.

Los gastos en los que se incurre actualmente se minimizan de la siguiente manera:

- Arranque directo, los costos por Mantenimiento Correctivo de uno de los ventiladores equivalen a U\$ 150,000, a ejecutarse en un lapso de tiempo de seis años.
- Arranque suave, se prevé el mismo monto pero se alarga el tiempo de ejecución del mantenimiento correctivo.

Accionando el motor a través del Arrancador Suave se ahorrará en el costo de inversión en alabes, rodamientos y engranajes, es decir, **que al menos se tendrá una extensión del 50% del tiempo base (seis años) como mínimo para volver a efectuar estos gastos**, en los que se cambian estos accesorios y adicionalmente se lograría la extensión de la vida útil del motor de inducción. Esto permite lograr reunir fondos para el mantenimiento predictivo, en los que se podría realizar visitas de inspección visual, así como reunir dinero para el mantenimiento correctivo de los otros ventiladores.

Entonces estos gastos se realizarán como mínimo cada $1.5*(6) = 9$ años. Por ende se estará alargando el tiempo de dicho mantenimiento, gracias a la reducción del desgaste de las partes mecánicas y eléctricas de los equipos al ser accionados a través de arrancadores suaves.

6.6 Evaluación Económica y Rentabilidad del Proyecto.

Para evaluar la rentabilidad económica del proyecto de Implementación de un Accionamiento Eléctrico a través de Arrancadores Suaves en la Central Termoeléctrica Managua se aplicarán los métodos de análisis económicos Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Rendimiento (TIR) ^[10], los cuales determinarán la factibilidad del proyecto. El periodo de estudio de la factibilidad del proyecto será de 1 año.

6.6.1 Calculo de las Utilidades Anuales.

Para el cálculo de las utilidades anuales del proyecto se tomarán en cuenta los beneficios obtenidos en las principales estrategias de ahorro propuestas:

- Reducción en Consumo de Energía de los motores de la Torre de Enfriamiento (RCE).
- Reducción de los picos de Demanda máxima. (RDM).

La utilidad anual del proyecto resulta de los beneficios obtenidos por la automatización del accionamiento a través de arrancadores suave de los motores de la torre de enfriamiento, la cual equivale a:

$$UA = RCE + RDM$$

$$UA = \$ 28,762 + 68,840$$

$$UA = \$ 97,602$$

[6-8]

Como se puede ver las utilidades anuales superan en gran medida a la inversión inicial del proyecto (\$ 45567.95), esto demuestra claramente que el monto de la inversión es recuperable en menos de un año. En vista de esto, el periodo de análisis de la recuperación económica se realizará mensualmente.

Las utilidades mensuales a través de la Reducción en Consumo de Energía (RCE) equivalen a:

Horas	Potencia mW.	Total-Día mW-H.	Total-Mes mW-H.	Precio Promedio. U\$/ mW-H. en el Mercado de Ocasión	Ahorro Mensual U\$.
5	0.1576	0.788	23.64	100	2364

Las utilidades mensuales a través de la Reducción de los picos de Demanda máxima. (RDM).

$$Ah = (551 - 66) * 12$$

$$Ah = 5,820 \text{ dolares.}$$

[6-8.1]

Las utilidades mensuales por ambas estrategias serán:

$$UM = RCE + RDM$$

$$UM = \$ 2,364 + \$ 5820$$

$$UM = \$ 8184$$

[6-8.2]

6.6.2 Método del Valor Presente Neto (VPN).

Este método es uno de los criterios que más se utiliza en la selección y evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar el valor en el tiempo cero de los flujos de efectivo que genera el proyecto y compararlo con la inversión inicial. Si este valor actual es mayor que el desembolso inicial, entonces es recomendable que el proyecto sea ejecutado, es decir, siempre que el valor presente de un proyecto sea positivo la decisión será emprenderlo.

Para calcular el Valor Presente Neto se utiliza la siguiente expresión:

$$VPN = -So + \sum_{t=1}^n \frac{St}{(1+i)^t} \quad [6-9]$$

Donde:

VPN: Valor presente Neto.

So: Inversión Inicial.

St: Flujo de Utilidades Neta del Periodo t.

n: Número de Periodos de vida del Proyecto.

i: Tasa de Recuperación Mínima Atractiva.

t: Periodo de Análisis.

Se observa que con una iteración mensual, considerando un periodo de recuperación de la Inversión Inicial de siete meses y una tasa de interés de 4.79 % a 30 días, establecida por el Banco Central de Nicaragua, el valor presente neto es:

$$VPN = -45,567 + \left\{ \frac{8184}{(1+0.0479)} + \frac{8184}{(1+0.0479)^2} + \frac{8184}{(1+0.0479)^3} + \frac{8184}{(1+0.0479)^4} + \frac{8184}{(1+0.0479)^5} + \frac{8184}{(1+0.0479)^6} + \frac{8184}{(1+0.0479)^7} \right\}$$

$$VPN = -45,567.95 + 47718$$

$$VPN = 2150$$

Puesto que el VPN es positivo, se recomienda llevar a cabo el proyecto ya que el rendimiento que se espera obtener del mismo es mayor al rendimiento mínimo requerido por la empresa; a la tasa de interés establecida por el Banco Central de Nicaragua.

6.6.3 Método del la Tasa Interna de Rendimiento (TIR).

La TIR se define como aquella tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos en efectivo de ingresos con el valor presente de los flujos en efectivo de egresos, siendo esa tasa la que se busca, una vez que se satisface la condición de igualdad a la que se hace referencia. En términos económicos la tasa interna de rendimiento representa el porcentaje o la tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión, de tal modo que el saldo al final de la vida de la propuesta es cero.

El criterio que se sigue para aceptar o rechazar un proyecto, en base al resultado de este método de evaluación, es el de establecer una comparación entre la TIR y la tasa mínima o límite que se exigiría por la empresa, como puede ser la correspondiente a la tasa de interés, si se cumple que $TIR > i$, entonces el proyecto debe ser aceptado.

La tasa interna de rendimiento es aquella tasa de interés i , que satisface la siguiente ecuación:

$$-S_0 + \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} = 0 \quad [6-10]$$

Donde:

- S_0 : Inversión Inicial.
- S_t : Flujo de Utilidades Neta del Periodo t.
- n : Número de Periodos de vida del Proyecto.
- i : Tasa interna de Rendimiento.
- t : Periodo de Análisis.

Tomando siempre un periodo de recuperación de siete meses, se encuentra la tasa de interés que iguala los flujos de ingresos y egresos aplicando el método de tanteo y error:

Prueba 1:

Se realiza una iteración con una tasa mensual de 5 %, aplicando la formula 6-10:

$$-45567.95 + \left\{ \frac{8184}{(1+0.05)} + \frac{8184}{(1+0.05)^2} + \frac{8184}{(1+0.05)^3} + \frac{8184}{(1+0.05)^4} + \frac{8184}{(1+0.05)^5} + \frac{8184}{(1+0.05)^6} + \frac{8184}{(1+0.05)^7} \right\} = 0$$

$$-45,567.95 + \{7794 + 7423 + 7070 + 6733 + 6412 + 6107 + 5816\} = 0$$

$$47,355 = 45,567.95$$

Prueba 2:

Se realiza una iteración con una tasa mensual de 6 %; aplicando la formula 6-10:

$$-45567.95 + \left\{ \frac{8184}{(1+0.06)} + \frac{8184}{(1+0.06)^2} + \frac{8184}{(1+0.06)^3} + \frac{8184}{(1+0.06)^4} + \frac{8184}{(1+0.06)^5} + \frac{8184}{(1+0.06)^6} + \frac{8184}{(1+0.06)^7} \right\} = 0$$

$$-45,567.95 + \{7720 + 7284 + 6871 + 6482 + 6116 + 5769 + 5443\} = 0$$

$$45,686 = 45,567.95$$

Prueba 3:

Se realiza una iteración con una tasa mensual de 6.1 %; aplicando la formula 6-10:

$$-45567.95 + \left\{ \frac{8184}{(1+0.06)} + \frac{8184}{(1+0.061)^2} + \frac{8184}{(1+0.061)^3} + \frac{8184}{(1+0.061)^4} + \frac{8184}{(1+0.061)^5} + \frac{8184}{(1+0.061)^6} + \frac{8184}{(1+0.061)^7} \right\} = 0$$

$$-45,567.95 + \{7714 + 7270 + 6853 + 6458 + 6087 + 5738 + 5408\} = 0$$

$$45,528 = 45,567.95$$

Según los cálculos la tasa de interés que más aproxima a la igualdad las utilidades mensuales y la inversión inicial equivale a 6.1 %, esta tasa de interés obtenida es mayor que la tasa de recuperación mínima atractiva (4.79 %), por tanto se recomienda que el proyecto sea ejecutado; pues se tendrá un tiempo de recuperación de siete meses.

7. Recomendaciones de Explotación, Criterios de Montaje y Mantenimiento Preventivo del Accionamiento Eléctrico en la Planta Managua.

7.1 Introducción.

Este capítulo es una guía que puede usarse para enfrentar cualquier problema en los equipos e instalaciones del Accionamiento, ya sea en el Arrancador Suave, Motor, Ventilador, Modulo Lógico Programable, en los dispositivos del circuito de control y en los equipos del circuito de Fuerza. Así mismo sirve como orientación para el montaje y mantenimiento adecuado de los mismos.

Normalmente, el arrancador suave indica los fallos a través de un indicador luminoso "Fault" (Fallo) y la pantalla muestra de qué tipo de fallo se trata. Cuando se activa una protección, esta se indica mediante la señalización "Protección" y la pantalla indica qué tipo de protección se ha activado. Los fallos no indicados por el arrancador suave se indicarán a través de lámparas de señalización ubicada en la sala de Controles.

Los arrancadores suaves en combinación con el Modulo Lógico Programable controlarán el arranque de los ventiladores de la torre de enfriamiento, convirtiéndose en elementos importantes dentro del proceso de generación eléctrica; por ende deberán ser manejados por personal calificado y así poder cumplir con las medidas de instalación y de seguridad establecidas.

7.2 Consideraciones del Ambiente de Instalación de los equipos Electrónicos. (Arrancador Suave, Modulo Lógico Programable).

7.2.1 Temperatura de Trabajo.

La Temperatura de trabajo, es la temperatura del aire que rodea a los equipos electrónicos, los cuales deben funcionar a una temperatura tan cercana a la mínima recomendada, tanto como sea posible, ya que si los dispositivos semiconductores se sobrecalientan pueden dejar de funcionar de manera adecuada en forma temporal, o bien pueden sufrir daños permanentes. Debido a esto, debe evitarse colocar cerca de estos dispositivos equipos que eleven la temperatura ambiente del aire después de un periodo de funcionamiento, como pueden ser los transformadores u otros arrancadores, se debe evitar exponer los equipos electrónicos al calor conducido a través de la superficie de montaje por materiales demasiado calientes o por la flama directa.

EL Módulo Lógico Programable tiene las dimensiones para equipos de instalación estipuladas en las normas DIN 43880, este se puede fijar a presión en un riel de perfil de sombrero de 35 mm de ancho según la norma DIN EN 50022, y estará ubicado en la sala de controles, bajo un ambiente climatizado.

Tomando en cuenta que los arrancadores suaves de los ventiladores de la torre de enfriamiento estarán ubicados a la intemperie en un ambiente hostil, sometidos al calor radiado por la exposición al sol, al polvo y a la lluvia, el dispositivo o cubierta en la que será instalado deberá cumplir con ciertos estándares que aseguren su robustez y el buen funcionamiento de la instalación, para esto se deben considerar los siguientes puntos:

- Se utilizará para instalar el arrancador suave un gabinete NEMA tipo 3R grado de protección IP 66 (ver anexos), este es un gabinete diseñado para uso en exteriores, en condiciones en las cuales puede llover o bien se puede formar hielo en la parte externa, se fabrican de laminas de acero diseñados para resistir a la corrosión, además tienen una junta en la cubierta para no dejar penetrar el agua
- Colocar disipadores de calor de tal forma que el aire pueda circular verticalmente entre las aletas de enfriamiento del disipador de calor. Esto facilita el flujo de aire necesario para el enfriamiento por convección.^[11]
- Distribuir los componentes que transmitan corrientes grandes de manera equitativa en toda la celda para evitar que halla puntos calientes centralizados.
- Se debe tomar precauciones para evitar que el aire se contamine con polvo y partículas conductoras. Se recomienda usar filtros de aire con enfriamientos por ventiladores, ya que el polvo acumulado en los disipadores de calor reduce la eficiencia térmica de estos.

7.2.2 Humedad.

La humedad puede representar un problema para el arrancador de estado sólido dado el ambiente en el que se instalará, a diferencia del MLP que se instalará en un ambiente menos nocivo y mejor controlado. Durante la operación del arrancador suave se produce calor y en ocasiones la humedad se condensa en este, de ser necesario se deberá aplicar medidas para controlar la humedad en el equipo.

Así mismo, deberán evitarse las condiciones muy secas para evitar problemas de electricidad estática, ya que si esta se aplica de manera directa a los terminales de un módulo o un circuito, puede provocar una operación errática de control y en algunos casos producir fallas de voltaje en los dispositivos semiconductores.

7.2.3 Golpes y vibraciones.

Los golpes y vibraciones suelen tener efectos dañinos en los equipos electrónicos para control de motores. Para evitar dichos daños puede ser necesario tomar medidas especiales. Se deberá evitar a toda costa colocar cerca del lugar de instalación de estos dispositivos equipos que vibren en forma constante o que tiendan a agitarse durante su operación normal.

7.3 Consideraciones de Cableado de los Circuitos.

7.3.1 Cableado para las señales de Control y del LOGO.

El ruido eléctrico acoplado puede verse como una señal indeseable que se origina en otro cable. Las líneas de control deben separarse de las fuentes de ruido canalizándolas a través de su propio conducto separado.

De ser posible, las líneas de corriente alterna que conduzcan corrientes altas o cargas inductivas no deberán correr cerca ni en forma paralela al cableado de señales de bajo nivel, además de estar separadas deben cruzarse solo en ángulo recto.

Se usará cables protegidos de par torcido para las señales de bajo nivel, ya que estos brindan una buena protección contra el acoplamiento electrostático y magnético.

El blindaje debe estar conectado a la tierra de control en un solo punto y se conectará en el circuito de entrada, la continuidad del blindaje debe conservarse a todo lo largo del cable. Verifique que el blindaje esté aislado en toda su extensión para garantizar la conexión a tierra en un solo punto.

Utilice conductores con la sección adecuada para la respectiva intensidad de corriente. Para el cableado del MLP se pueden utilizar conductores con una sección transversal de entre 1,5 mm² y 2,5 mm². No apriete excesivamente los bornes de conexión. Par de torsión máximo: 0.5 N-m.

Los conductores han de tenderse siempre lo más cortos posible, deberá utilizarse un cable apantallado y se deben tender a pares: un conductor neutro junto con un conductor de fase o una línea de señal. Para “acoplar” y “desacoplar” los módulos de ampliación, el equipo debe encontrarse sin corriente.

7.3.2 Conexión a tierra.

El método de conexión a tierra del sistema de control tiene un efecto importante sobre las protecciones y la inmunidad al ruido eléctrico. Cada tierra debe conectarse a su punto de referencia correspondiente con un solo cable y nada más (conexión a tierra de un solo punto). Dos o más sistemas nunca deberán compartir un solo cable a tierra común ya sea tierra de equipo o un conductor común para control.

7.4 Localización de Fallas y Mantenimiento preventivo en el Arrancador Suave de estado sólido.

Son varios los factores que pueden tener un efecto nocivo sobre el desempeño de los controladores para motores, tales como la temperatura, la humedad y la contaminación atmosférica, así mismo el uso equivocado de un control puede ocasionar problemas graves. Una revisión visual cada seis meses y las verificaciones eléctricas más frecuentes, realizadas con los instrumentos adecuados ayudarán a que la continuidad no se interrumpa debido a una falla en el arrancador que pudo haberse evitado.

La reparación de un arrancador suave de estado sólido es tan variada como la cantidad de diseños de los mismos. Antes de intentar dar servicio a uno de ellos debe tenerse cuidado al retirar las tarjetas de circuitos de control o los dispositivos de potencia de estado sólido, aunque los dispositivos están diseñados para el uso en un entorno industrial, suelen contener componentes y circuitos pequeños que pueden dañarse si el servicio no se proporciona en la forma adecuada.

Los arrancadores suaves de estado sólido se componen de dos secciones principales; Potencia y control, una falla de este se presentará en una de estas dos secciones.

Cuando se presente un problema en el sistema de control será importante tomar en consideración todos los aspectos, incluyendo el propio control del motor, el cableado de control, los interruptores, el equipo de control programable, etc.

7.4.1 Fallas en el Circuito de potencia (tiristores).

Una falla en la sección de potencia provocará un corto en los tiristores, esta falla puede provocar que, en el arranque, el motor vibre y haga un ruido anormal o que se disparen los interruptores automáticos de circuito. Para determinar si hay un corto en los tiristores se mide la resistencia con un ohmiómetro, de haber un corto la resistencia será de 0 Ω . Los dispositivos de protección contra sobrevoltajes transitorios deberán revisarse cada vez que ocurra un cortocircuito en los tiristores.

7.4.2 Fallas en el Circuito de Control.

Las fallas en la sección de control suelen evitar que el control del motor funcione, o bien, ocasionar que se aplique al motor un bajo voltaje, se deberá de asegurar que este bajo voltaje no sea resultado de una secuencia de arranque incompleta o de algún otro ajuste. Las fallas en la sección de control necesitan repararse en la fábrica o que se reemplace el aparato.

Si el arrancador suave no arranca a pesar de que las secciones de potencia y control trabajan correctamente, puede ser que la unidad no haya recibido las órdenes de control del Modulo Lógico Programable o bien que existan relevadores de sobrecarga disparados, circuitos abiertos, etc.

Tipo de Fallo	Posible Causa	Solución
Fallos de Red	Falta tensión de alimentación	*Verificar los fusibles / Verificar el contactor de línea.
	Perdida de 1 o 2 fases.	*Verificar el contactor de línea. *Controlar la tensión de L1 a L3
	Red contaminada de armónicas.	*Controlar la red (fase, desequilibrio, armónicas) *Reducir las armónicas.
	Tensión de alimentación demasiado baja	*Controlar y adaptar la tensión de alimentación
	Falta de carga	*Conectar el motor.
Fallos en los tiristores.	Uno o dos tiristores cortocircuitados internamente	*Controlar los tiristores y eventualmente cambiarlos. Los tiristores deben tener una resistencia > 10 k Ω .
Sobrecarga	Sobrecalentamiento del disipador	*Controlar la temperatura ambiente. *Verificar el dimensionamiento. *Revisar si el accionamiento está bloqueado. *La frecuencia de maniobra es excesiva
	Corriente permanente o de arranque excesiva	*El accionamiento puede estar bloqueado.
	Duración de arranque sobrepasada	*Adaptar la limitación de corriente. *Desactivar la señalización, fin de aceleración
	Corto circuito de carga	*Verificar el circuito de la carga.
Fallo en aparato	Fallo de encendido de tiristor	*Controlar la red de alimentación (fase, desequilibrio, armónicas)
	Referencia de la parte de potencia ajustada erróneamente en la parte de mando	*Sustituir la parte de mando.

	Termistor cortocircuitado o interrumpido.	*Verificar el termistor.
Arranque bloqueado	Radiador transitoriamente demasiado caliente para un nuevo arranque	*No arrancar hasta que se haya enfriado. *Verificar la frecuencia de maniobra.

Tabla7.1 Tratamiento de Fallos en el Arrancador Suave.

7.4.3 Mantenimiento preventivo del Arrancador Suave.

Los arrancadores de estado sólido necesitan muy poco mantenimiento preventivo, de hecho casi lo único que necesitan es que se revise la firmeza de las conexiones eléctricas para evitar sobrecalentamientos, que los filtros y los ventiladores de enfriamiento se mantengan limpios y con libertad para girar. Dentro del mantenimiento preventivo es importante mantener limpio el equipo de partículas de polvo sobre todo en las tarjetas electrónicas, para esto se debe utilizar una aspiradora, no aire comprimido ya que puede proyectarse una partícula e impactar en un dispositivo electrónico y dañar el equipo.

En términos generales se deben realizar las siguientes tareas:

- Limpie el área de instalación del Arrancador Suave con ayuda de una aspiradora de aire.
- Compruebe que todos los pernos y tornillos de montaje estén bien fijados. Apriételes si es necesario.
- Compruebe que todas las conexiones de los circuitos principal (de alimentación), de control y de mando estén bien fijados. Apriete los tornillos de los terminales y los pernos de las barras de conexión, si es necesario.
- Asegúrese que las vías de aire de refrigeración estén libres de suciedad y polvo.
- Verifique los filtros externos. Límpielos si es necesario.

7.4.4 Procedimientos de Comprobación y Medida del Arrancador Suave.

Para realizar estas pruebas no se necesitan de herramientas especiales, en general basta con un multímetro y un amperímetro de mordaza, el multímetro puede utilizarse para verificar los voltajes de entrada y salida o medir la resistencia y la caída de voltaje a través del tiristor, mientras que el amperímetro se utiliza para medir la corriente del motor y del arrancador.

Prueba de Arranque.

Esta prueba comprueba el funcionamiento correcto del Arrancador Suave durante el arranque, se deben seguir los siguientes pasos:

- Calcular la corriente de arranque necesaria multiplicando la corriente a plena carga del motor por el límite de corriente de arranque programado.
- Realizar un arranque y medir la corriente de arranque.
- Si la corriente de arranque medida es igual a la corriente calculada, el arrancador está funcionando correctamente.

Prueba de Rendimiento del Arrancador Suave.

Este procedimiento comprueba el funcionamiento del Arrancador Suave durante el tiempo que está en marcha:

- Medir la corriente a través de cada fase (L1-T1, L2-T2, L3-T3) del Arrancador Suave. Una caída de tensión de aproximadamente 2 VAC o menos indica que el arrancador está funcionando correctamente.

Prueba de Circuito de Potencia.

Esta prueba verifica el estado del circuito de potencia incluyendo los Tiristores, circuito de disparo y el circuito impreso. Para esto se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Desconectar la fuente de Voltaje (L1, L2, L3 y la tensión de control) del arrancador.
- Desconectar los cables del motor (T1, T2, T3) del arrancador.
- Asegurarse que el circuito de disparo sigue conectado durante la prueba.
- Medir con un ohmímetro la resistencia entre el terminal de entrada y el de salida de cada fase (L1-T1, L2-T2, L3-T3). La resistencia tiene que estar cerca de 33 k Ω .
- Si la resistencia medida a través del tiristor es menor que 10 k Ω , el tiristor debe ser reemplazado.

Prueba de los terminales de Control.

Sirve para verificar la integridad de los circuitos conectados a cualquiera de los terminales de entrada del control remoto. Arranque, Parada y Reset. Se debe realizar la siguiente actividad:

- Usando un voltímetro medir a través de cada terminal de control. Si el resultado de la medición es 24 VDC cuando el circuito está cerrado, el contacto de control está incorrectamente conectado o tiene un fallo.

7.4.5 Programación de los principales parámetros de los Arrancadores Suaves según las características de los ventiladores de la torre de enfriamiento.

- Corriente a plena Carga: ajuste de acuerdo a la corriente nominal de placa del motor, 230 Amperios.
- Limite de Corriente de Arranque: El limite de corriente debe ser programado de manera que el motor acelere fácilmente hasta alcanzar la velocidad nominal, se programa a 3.5 veces la corriente nominal.
- Capacidad térmica del motor: la capacidad térmica del motor se define como el periodo de tiempo que el motor soporta una corriente directa de línea, los motores de la torre soportan no más de 15 segundos.^[6]
- Punto de disparo de sobrecarga instantánea: el punto de disparo de sobrecarga instantánea se debe programar dando prioridad a las protecciones externas (relé contra sobrecarga), este se programa a 2.5 la corriente nominal.
- Protección de Exceso de duración del arranque: el arrancador suave se disparará si el arranque del motor dura más del tiempo establecido, programar a 16 segundos.
- Protección de Inversión de Fase: esta hace que la rotación del motor quede limitada a una sola dirección, en concordancia con las características del ventilador de la torre se debe fijar solamente rotación marcha adelante.
- Modo Local o Remoto: determina cuando están disponibles los pulsadores de control local del arrancador suave o los terminales de control remoto que estarán controlados por el MLP, seleccionar modo Remoto.
- Protección contra desequilibrio de Fases: se programa dando prioridad a las protecciones externas (Relé de Asimetría de Tensión), estas disparan a un 70 % de la tensión nominal, el arrancador suave se establece a un 60 % de la tensión nominal.

7.5 Instalación y Mantenimiento Preventivo de los Gabinetes o Celdas.

Se instalará un Gabinete o Celda por cada uno de los motores de la torre de enfriamiento, la configuración e instalación de equipos así como parametrización de los dispositivos de control y protecciones será igual para las tres Celdas.

Las Dimensiones (mm) de cada uno de los Gabinetes NEMA 3R recomendadas son:

Alto:	1600 mm
Ancho:	1000 mm.
Profundidad:	500 mm

7.5.1 Distribución del Gabinete NEMA 3R.

1. Sección de fuerza: localizada en la parte principal del gabinete en formación vertical, con un ordenamiento serie según el diagrama unifilar.
2. Sección de bajo voltaje: localizado en la parte superior del gabinete y contiene los circuitos de control.
3. Los circuitos de señalización y señales magnéticas de control se encontrarán aisladas de las señales de alto voltaje.
4. Respetar las distancias mínimas de separación recomendadas por el fabricante entre los equipos y las paredes del Gabinete, asegurando la buena ventilación en cada una de las tres celdas

7.5.2 Fuerza y Bus de Tierra.

Bus principal. (Barra 460 V)

1. Localizado en la parte superior del gabinete. Ponerlo en un plano horizontal para proporcionar la máxima capacidad del corto circuito y mejorar la distribución del calor.
2. Se cubre la lámina con estaño con capacidades mínimas en amperes por los estándares del fabricante dependiendo del rango en HP.
3. La capacidad de corriente mínima y continua de las barras de cobre del bus se selecciona de acuerdo a los estándares del fabricante dependiendo del rango en HP.
4. Debe contar con aisladores de 5 kV de fibra de vidrio y poliéster.

Refuerzos del Bus

1. Los conectores, las barras y los cables deben poder resistir a los esfuerzos mecánicos sin daños o deformación.
2. Las juntas del bus contarán con un mínimo de dos orificios para tortillería. Proporcionará huecos que sean aptos para las tortillerías, para facilitar la futura extensión del centro de control del motor en cada lado.

Bus de tierra

1. Un bus continuo de tierra debe ser suministrado por todo lo largo de la línea de control.
2. Debe estar localizado en el fondo de cada celda.

7.5.3 Mantenimiento Preventivo del Gabinete.

El mantenimiento de los gabinetes donde se instalarán los equipos del accionamiento se programará en dependencia de la gravedad del servicio, para esto se tomará en cuenta la importancia de las máquinas que se controlan, en este caso los ventiladores de la torre de enfriamiento. El mantenimiento de los gabinetes y de todos los equipos en general deberá coincidir con la revisión de los motores. En general se recomienda realizar las siguientes verificaciones rápidas:

- Para limpieza del gabinete use una aspiradora, no aire comprimido.
- La acumulación excesiva de materiales extraños significa que los empaques están defectuosos, en este caso sustitúyalos. Preste especial atención a los depósitos conductores.
- Verifique periódicamente la presión de las conexiones ya que esto fomenta la confiabilidad y reduce el calentamiento. El sobrecalentamiento y la decoloración significa que hay conexiones sueltas.
- Apriete los pernos de la barra colectora de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- Apriete todas las conexiones de ingreso a los diferentes equipos instalados en el gabinete de acuerdo a los requerimientos de par que se encontrarán en una etiqueta ubicada en cada dispositivo.
- Realice pruebas de aislamiento al gabinete. Las lecturas típicas con todas las desconexiones apagadas deberán ser entre 5 y 20 mΩ.
- Revisar si no existen acumulaciones de agua.

7.6 Mantenimiento Preventivo de los Motores de la Torre de Enfriamiento.

Para obtener un máximo aprovechamiento de la vida útil de los motores de la torre de enfriamiento se deberá establecer un programa de Mantenimiento en dependencia del régimen de trabajo de los motores, dentro del mantenimiento se tomarán en cuenta los siguientes procedimientos y precauciones:

Limpieza:

Remover aceite, polvo u otros materiales del motor ya que estos pueden ser causa de altas resistencias de aislamiento.

Lubricación:

El régimen continuo de trabajo de los motores hace que el periodo de engrase de los cojinetes sea de aproximadamente de 4 meses. Se deberá remover las tapaderas del motor y limpiar los depósitos de grasa, los cojinetes deberán ser limpiados y reengrasados, así como también se deberá revisar que estén libres de asperezas, en este caso se deben de reemplazar.

La grasa se deteriora con el tiempo dependiendo del tamaño del cojinete, la velocidad y la temperatura, por lo que la grasa a utilizar debe ser la recomendada por el fabricante del motor. Una cantidad insuficiente de grasa así como un exceso de la misma en el cojinete puede causar sobrecalentamiento.

Revise el nivel de aceite lubricante del motor por lo menos cada tres meses, el aceite viejo debe ser extraído y remplazado por lo menos cada año. Limpie el aceite si hay evidencias de suciedad o residuos. Revise el desgaste de los cojinetes anualmente midiendo el entrehierro con un calibrador.

El eje de transmisión del motor debe estar detenido cuando el motor se esté aceitando. Se recomienda usar aceite para turbina SAE No. 10 ^[12].

Aislamiento:

Mida la resistencia de aislamiento con un Megohmetro por lo menos una vez al año, o al final de un periodo de mantenimiento. La lectura de una baja resistencia de aislamiento representará que el motor necesita mantenimiento. Se deberá instalar un medio calefactor para prevenir la condensación del agua sobre todo cuando el motor está inactivo y prevenir el deterioramiento gradual del aislamiento.

7.7 Mantenimiento Preventivo de los Ventiladores de la Torre de Enfriamiento.

El mantenimiento preventivo de los ventiladores prolongará su vida útil y asegurará una operación continua libre de problemas. Para esto se deberá realizar el siguiente procedimiento:

1. Revisar y si es necesario tensar los herrajes de sujeción de las aspas del ventilador.
2. Inspeccionar si el ventilador no tiene daños debidos a golpes o por corrosión.
3. Asegurarse que el ventilador gire libremente. No arrancar el ventilador si algo está obstruyendo con la rotación.
4. Si se produce un desbalance en el ventilador se debe remover cualquier acumulación de costra o suciedad.
5. Si por cualquier razón es necesario desmontar el ventilador, los pernos de sujeción de las aspas y las superficies de las tuercas de los cojinetes deberán ser lubricados nuevamente y resocados por los pares de aprietes establecidos.

7.8 Que hacer ante Problemas de Vibración en la Torre de Enfriamiento.

Si se dan vibraciones en la torre de enfriamiento estas deben ser corregidas inmediatamente. Utilice el siguiente procedimiento para detectar la fuente del problema:

- 1- Revisar el montaje del motor, para ver si los pernos de sujeción están bien tensados con la base del mismo.

- 2- Desconectar el motor de la carga (ventilador) y accionar el motor de forma separada. Si el motor produce vibración, revisar el equilibrio y balance del rotor.
- 3- Si la vibración se genera en el equipo mecánico (ventilador), revisar:
 - a- Alineamiento entre el motor y el ventilador.
 - b- Apriete de la caja reductora (caja de engranaje) o los componentes de transmisión y los pernos de sujeción.
 - c- Desbalance del eje de Transmisión.
 - d- Desbalance en el ventilador.

7.9 Criterio para la Puesta en Marcha de los Ventiladores.

El motor debe de arrancar y llevar al ventilador hasta su velocidad nominal (120 RPM) en menos de 15 segundos ^[6], en caso contrario se deberá revisar la programación del arrancador suave, fusibles, relé de sobrecarga y voltaje en los terminales del motor. Arranque el motor por separado de la carga para revisar las conexiones y el sentido de rotación del mismo.

Por ningún motivo arranque el motor sin antes estar seguro que no habrá interferencia con la rotación del ventilador. En periodos de mantenimiento cuando se esté trabajando en el ventilador o en cualquiera de sus partes mecánicas asegúrese de que el motor no pueda ser arrancado.

7.10 Mantenimiento preventivo de los equipos auxiliares del accionamiento eléctrico.

7.10.1 Contactores.

- a. Asegurar el buen funcionamiento de la bobina.
- b. Limpie las piezas mecánicas o magnéticas con solvente no volátil o líquido desengrasante.
- c. Verificar que no existan partes desgastadas u oxidadas que provocan adherencia, en dicho caso, tal vez se necesite una ligera lubricación o se tendrán que reemplazar.
- d. Revisar los contactos de fuerza y auxiliares, observando si hay desgaste o irrupción anormal de corriente. Limpie los contactos con líquido no volátil para eliminar materia extraña que impidan que estos operen de forma satisfactoria.
- e. Inspeccionar la presión de los contactos, si es débil reemplace los resortes u observe si el porta contacto no tiene daños o deformaciones.

7.10.2 Relé de Sobrecarga.

- a. En caso de sobrecarga sostenida, se deberá verificar que no existan conexiones a tierra ni cortos así como corrientes excesivas de motor debidas a sobrecarga, revisar la resistencia a tierra del devanado del motor, inspeccionar que no existan conexiones sueltas, límpielas y apriétalas. Esto incluye los tornillos de montaje de los alambres de carga y los elementos térmicos.
- b. Observar si no existe atascamiento mecánico, suciedad o corrosión en este caso limpie o reemplace.
- c. Revisar la calibración del relé de sobrecarga, verificando las capacidades nominales.

7.10.3 Interruptores

- a. Revisar la continuidad de los contactos, así como mantener limpia el área cubierta por estos y en caso necesario, reemplace el bloque de contactos.
- b. Observar si el actuador del interruptor está fuera de lugar o roto, en cuyo caso debe reparar o reemplazar.
- c. Revisar las conexiones en los bornes de contacto, en caso de flojedad sujete y apriete a una presión adecuada. Al mismo tiempo limpiar esta área con solvente no volátil.

7.10.4 Dispositivos de Protección.

- a. Verificar y medir la resistencia a tierra de los equipos conectados a la red de tierra (Apartarrayo de baja tensión y relé de asimetría de tensión), garantizando de esta manera el buen funcionamiento de dichas protecciones.
- b. Revisar conexiones sueltas de los equipos con la red de tierra.
- c. Evitar oxidaciones en los puntos de conexión de los equipos con la red de tierra.
- d. La Conexión a tierra en estos equipos (Apartarrayo de baja tensión y relé de asimetría de tensión) debe de realizarse en un terminal de tierra montado dentro de los mismos. Un cable corto y recto debe hacer la conexión a tierra o a la barra de tierra.

7.10.5 Red de tierra.

Realizar mediciones de la red de tierra al menos dos veces al año. La medición se realizará con ayuda de un Megaohmetro, para esto se deberá desconectar todos los puntos de conexión de los equipos a la red.

7.10.6 Elementos de Control.

El mantenimiento preventivo de los dispositivos de control como el MLP, contactores para control, pulsadores, lámparas de señalización y sensores de temperatura, se debe programar de manera que coincida con la revisión de los demás equipos que conforman el accionamiento (motor, ventilador, celdas). El mantenimiento preventivo debe incluir los siguientes procedimientos:

- a. Controlar el ambiente de trabajo de estos dispositivos evitando la humedad y el calor excesivo.
- b. Para prevenir la acumulación de polvo, realice limpieza a través de una aspiradora y no con aire comprimido.
- c. Para fomentar la confiabilidad y reducir el calentamiento dentro del MLP y los Módulos de ampliación se debe verificar periódicamente la tensión de los puntos de conexión y garantizar de esta manera la precisión de las señales analógicas.
- d. Comprobar el buen funcionamiento de los contactos y las bobinas de los contactores de control, límpielos o cámbielos si es necesario.
- e. Revise los contactos de los pulsadores y el buen estado del resorte.
- f. Inspeccionar continuamente el buen estado de las lámparas de señalización, así como los contactos de alimentación de las mismas.
- g. Realizar una limpieza periódica en las tomas de lecturas (pozos) de los parámetros de temperatura, eliminando materiales incrustados en el metal que puedan influir en la lectura de los sensores.
- h. Limpiar los sensores de temperatura con solventes adecuados.
- i. Verificar los bornes de conexión de los convertidores de señales analógicas, que estén libres de corrosión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1] Enel, Manual de operación, Planta termoeléctrica Managua, Managua, Nicaragua 1997.
- [2] Stephen J. Chapman, Maquinas Eléctricas, Segunda Edición, Editorial McGraw Hill. Pág. 605;
- [3] Marc Couedic, Circuitos Integrados para Tiristores y Triacs, Editorial Alfaomega, Pág. 119- 122.
- [4] Iván Santamaría, Folleto Cogeneración en Ingenio San Antonio, 2005.
- [5] Benshaw, Manual de Instrucciones, Arrancador Redistart Micro II, Series RSM 6/6B, 7/7B.
- [6] GECSA, Cuadro de Control Torre de Enfriamiento, 1994.
- [7] Siemens, Manual de operación, funcionamiento e instalación de LOGO.
- [8] Josep Balcells, José Luís Romeral, Autómatas Programables, Edición Original, Alfaomega-Marcombo Editores S.A.
- [9] Ley de la Industria Ecléctica, Comisión Nacional de Energía (CNE).
- [10] Raúl Coss Bu, Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión, Editorial Limusa, 2^{da} Edición, Pág. 61-77.
- [11] Larousse, Diccionario Ilustrado de Técnica y Tecnología, Edición especial, SPES Editorial, SL. 2002.
- [12] Marley, Inc. Manual de Mantenimiento de la Torre de Enfriamiento, 1990.
- [13] Danfuss, Manual de Funcionamiento e Instalación. Arrancadores Suaves de la Línea MCD3000.
- [14] Instituto Nicaragüense de Energía (INE), Comisión Nacional de Normas Eléctricas (CNNE), Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua (CIEN). Pág. II-15; IV-67; IV-71.
- [15] José Manuel Aller Castro, Máquinas Eléctricas Rotativas.
- [16] Donald G. Fink, Donald Christiansen, Manual de Ingeniería Electrónica Volumen 3, Editorial McGraw Hill, Pág. 15-10 a 15-14.

- [17] Edgardo Rayo, Estudio de la Facturación y costos de la Energía Eléctrica en Nicaragua y estrategias para reducirla, Pág. 76-84.
- [18] Rober C. Rosaler, Manual del Ingeniero de Planta Tomo 1, Segunda Edición, Editorial McGraw Hill.
- [19] Gabriel Baca Urbina, Evaluación de Proyectos, Tercera Edición, Editorial McGraw Hill.
- [20] Siemens, Manual de Funcionamiento e Instalación. Arrancadores Suaves Sikostar.
- [21] Emotron, Manual de Instrucciones. Masterstart MSF Arrancador, modelos MSF 017 – MSF 1400, Edición R1 1999
- [22] WEG, Guía del Usuario. Arrancadores SSW05 Plus.
- [23] Baldor, Manual de Operaciones e Instrucciones. Arrancadores Digitales Trifásicos.
- [24] ABB, Manual de instalación y puesta en servicio. Arrancadores Suaves, Modelos PST30 - PSTB1050.
- [25] Allen Bradley, Manual de Instrucciones. Arrancador Estático SMC Dialog Plus.
- [26] Benshaw, Manual de Instrucciones, Arrancador Redistart Micro II, Series RSM 6/6B,7/7B.
- [27] Luís Ballesteros, Diccionario Técnico de Electromecánica, Octava Edición, Editorial Limusa.
- [28] Siemens, Catalogo de Control, Instalación y Automatización de Equipos de Baja Tensión, 2004.
- [29] EATON-Cutler Hammer, XT IEC Power Control, 2005.
- [30] Enríquez Harper, Manual de Electricidad Industrial II Reparación de Motores Eléctricos, Segunda Edición, Editorial Limusa.
- [31] Enríquez Harper, Manual de Electricidad Industrial I, Primera Edición, Editorial Limusa.
- [32] Baldor, Catálogos de Productos, Motores y Accionamientos, 2002.
- [33] Telemecanique, Catálogos de Arrancadores Suaves y Variadores de Velocidad, 2000.
- [34] Rayvoss, Brochure de Sistema Supresor de Transientes de Voltaje (TVSS).

[35] Bratus Serban y Eduardo Campero, Instalaciones Eléctricas, Editorial Alfaomega, México 1992. Pág. 88.

[36] Instituto Nicaragüense de Energía. Ente Regulador. Pliego Tarifario a entrar en vigencia el primero de Octubre.

[37] José Raúl Martín, Diseño de Subestaciones Eléctricas, Editorial McGraw-Hill, Pág. 193-215.

[38] Enríquez Harper. Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales. Segunda Edición. Editorial Limusa 2000. Pág. 314-316.

[39] Enríquez Harper. Técnicas de las Altas Tensiones. Volumen II. Segunda Preedición. Editorial Limusa. Pág. 142-145; 301-305.

[40] www.schneider-electric.com

[41] www.preelectronics.dk.

[42] www.superiorelectric.com

[43] www.sola-hevi-duty.com

[44] www.helukabel.com

NOMENCLATURA DE CALCULOS REALIZADOS.

<i>A</i>	: Área a cubrir por los conductores en la red de tierra
<i>Aa</i>	: Ahorro Anual.
<i>Ah</i>	: Ahorro.
<i>A-H</i>	: Amperios – Hora.
<i>C</i>	: Constante en el cálculo de conductores electricos.
<i>CV</i>	: Caballos Vapor.
<i>D</i>	: Factor de Decremento.
<i>Dmax</i>	: Demanda Máxima.
<i>e</i>	: Porcentaje de caída de tensión.
<i>Et</i>	: Energía Consumida en determinado tiempo
<i>Ea</i>	: Energía Consumida en un año.
<i>F</i>	: Superficie del área a cubrir por la red de tierra.
<i>fc</i>	: Factor de Crecimiento.
<i>Fvm</i>	: Valor máximo del fusible.
<i>HP</i>	: Horse Power.
<i>Hz</i>	: Hertz.
<i>i</i>	: Tasa de Recuperación mínima atractiva.
<i>la</i>	: Corriente de arranque del motor.
<i>lc</i>	: Corriente de Carga.
<i>lcc</i>	: Corriente de Cortocircuito.
<i>Ist</i>	: Corriente de Arranque mínima necesaria.
<i>It</i>	: Corriente total.
<i>Im</i>	: Corriente máxima.
<i>In</i>	: Corriente nominal.
<i>kA</i>	: Kilo Amper.
<i>Ke</i>	: Factor de Conexión a tierra.
<i>kVA</i>	: Kilo Voltio Amperio.
<i>kW</i>	: Kilowatt.
<i>kW-H</i>	: Kilowatt por Hora.
<i>kΩ</i>	: Kilo ohm.
<i>L</i>	: Longitud del Conductor Eléctrico.
<i>Lb/Hr</i>	: Libras por Hora.
<i>LRT</i>	: Par de Arranque del motor.
<i>m³/h</i>	: Metros Cúbicos por Hora.
<i>mA</i>	: Miliamperio.
<i>ms</i>	: Milisegundo.
<i>mV</i>	: Milivoltio.
<i>mVA</i>	: Mega Voltio Amper.
<i>mW</i>	: Megawatt.
<i>mW-H</i>	: Megawatt por hora.
<i>mΩ</i>	: Megaohm.
<i>η</i>	: Eficiencia.
<i>n</i>	: Número de períodos del tiempo de análisis.
<i>N</i>	: Velocidad Nominal.
<i>P</i>	: Potencia Mecánica.
<i>Pa</i>	: Potencia demandada al momento de arranque.
<i>Pas</i>	: Potencia de arranque demandada con arrancador Suave.
<i>PCT</i>	: Par de Carga Total.

NOMENCLATURA.

<i>P_n</i>	: Potencia nominal del motor.
<i>P_m</i>	: Precio del mercado de Ocasión.
<i>P_p</i>	: Potencia permanente.
<i>P_t</i>	: Potencia total.
<i>r</i>	: Resistencia eléctrica.
<i>r_s</i>	: Radio equivalente de la superficie total.
<i>RCE</i>	: Reducción en consumo de energía.
<i>RDM</i>	: Reducción de demanda máxima.
<i>RPM</i>	: Revoluciones por minuto.
<i>S</i>	: Sección transversal de un Conductor Eléctrico.
<i>S_o</i>	: Inversión Inicial.
<i>St</i>	: Flujo de utilidades neta del periodo t.
<i>t</i>	: Periodo de tiempo en Análisis.
<i>Tauton.</i>	: Tiempo de autonomía.
<i>Tst</i>	: Par de Arranque Necesario.
<i>TIR</i>	: Tasa Interna de Rendimiento
<i>UA</i>	: Utilidad Anual.
<i>UM</i>	: Utilidad Mensual.
<i>Uimpulso.</i>	: Tensión de impulso.
<i>Up</i>	: Nivel de protección del Supresor de Voltaje.
<i>Ur</i>	: Tensión de la red de alimentación.
<i>US\$/ mW-H</i>	: Dólares por Megawatt hora
<i>VA</i>	: Voltio Amperio
<i>VAC</i>	: Voltaje de Corriente Alterna.
<i>VDC</i>	: Voltaje de Corriente Directa.
<i>VPN</i>	: Valor Presente Neto.
<i>Vmax</i>	: Tensión máxima de trabajo de determinado equipo
<i>Vn</i>	: Tensión Nominal de Trabajo de determinado equipo.
<i>Vef</i>	: Voltaje eficaz.
<i>ρ</i>	: Resistividad propia del terreno.
<i>α</i>	: Angulo de disparo de los tiristores.

1. Método de selección avanzado del Arrancador Suave.

Este método se usa cuando se conocen los datos del motor (Circuito equivalente) y la carga para determinar la corriente de arranque necesaria y cuando las corrientes de arranque típicas para determinados tipos de carga no son lo suficientemente precisas.

También se recomienda este método para aplicaciones de alta inercia y para instalaciones en las que haya grandes motores donde el rendimiento del arranque del motor puede experimentar grandes variaciones.

En general se debe realizar el siguiente procedimiento:

1. Calcular el par de arranque necesario como un porcentaje del Par de Carga Total (PCT). La empresa que le suministre la máquina le facilitará información necesaria acerca del par de arranque o par nominal de la misma.
2. El par de carga total del motor se puede calcular de la siguiente manera:

$$PCT(N - M) = \frac{9550 * kW \text{ del motor}}{RPM}$$

3. Calcular la corriente de arranque mínima requerida por el motor para producir el par de arranque solicitado por la carga.

$$I_{ST} = I_a * \sqrt{\frac{T_{ST}}{LRT}}$$

I_{ST} = Corriente de arranque mínima necesaria

I_a = Corriente de arranque del Motor

LRT = Par de arranque del Motor

T_{ST} = Par de arranque necesario.

3. Consultar las tablas de Rangos de Corriente en los Catálogos de los Fabricantes de Arrancadores Suaves, en donde se debe elegir una columna de corrientes de arranque que sea mayor que la corriente de arranque necesaria según se ha calculado anteriormente. Use esta columna para elegir el Arrancador Suave con un rango de corriente nominal mayor o igual que la corriente nominal de placa del motor.

2. Determinación de la Carga en los Motores de la Torre de Enfriamiento.

La carga que tendrán los motores de la torre de enfriamiento dependerá principalmente del ángulo de barrido que se les de a las aspas de los ventiladores con respecto al plano de rotación; entre mayor sea el ángulo de barrido de las aspas del ventilador mayor será el volumen de aire que éste es capaz de mover.

Para un determinado ángulo de barrido de las aspas y a velocidad constante del ventilador, la carga en HP en el motor dependerá directamente de la densidad del aire circulante en la torre y este a su vez depende de la temperatura y presión barométrica del ambiente. Con el rango de agua caliente de diseño de la torre de enfriamiento se puede determinar la carga en HP del motor con el siguiente procedimiento:

- Tomar nota de los datos nominales de placa del motor.
- Arrancar el motor y dejarlo funcionar durante 30 minutos.
- Medir el Voltaje entre las líneas de alimentación al motor.
- Medir la corriente en las tres fases.
- Promediar las mediciones de voltaje y corriente realizadas y calcule los Hp del motor usando la siguiente ecuación:

$$HP_{prueba} = \frac{Voltaje * Corriente (promedio)}{Voltaje * Corriente (nominales)} * HP (nominales)$$

Dado que generalmente las propiedades de los ventiladores para torres de enfriamiento se ajustan para cargas correspondientes a climas cálidos, es de esperarse que la carga en Hp nominal del motor se exceda cuándo el motor este operando durante invierno o climas fríos. Bajo estas condiciones, la sobrecarga en el motor provocará un aumento en la temperatura del mismo, pero la temperatura de operación del motor será en realidad mas baja debido a la bajas temperaturas del ambiente, así pues la sobrecarga que sufra el motor cuando opere en climas fríos no será determinante en su funcionamiento.

Se realizó una prueba de campo en el ventilador C de la torre de enfriamiento a una temperatura ambiente aproximada de 30 °C, en la que se midió la corriente en cada una de las fases y voltajes entre líneas de alimentación al motor obteniendo los siguientes valores promedios:

$$V_{promedio} = 440 \text{ Volt.}$$

$$I_{promedio} = 215 \text{ Amp.}$$

Con estos valores se calculan los Hp del motor:

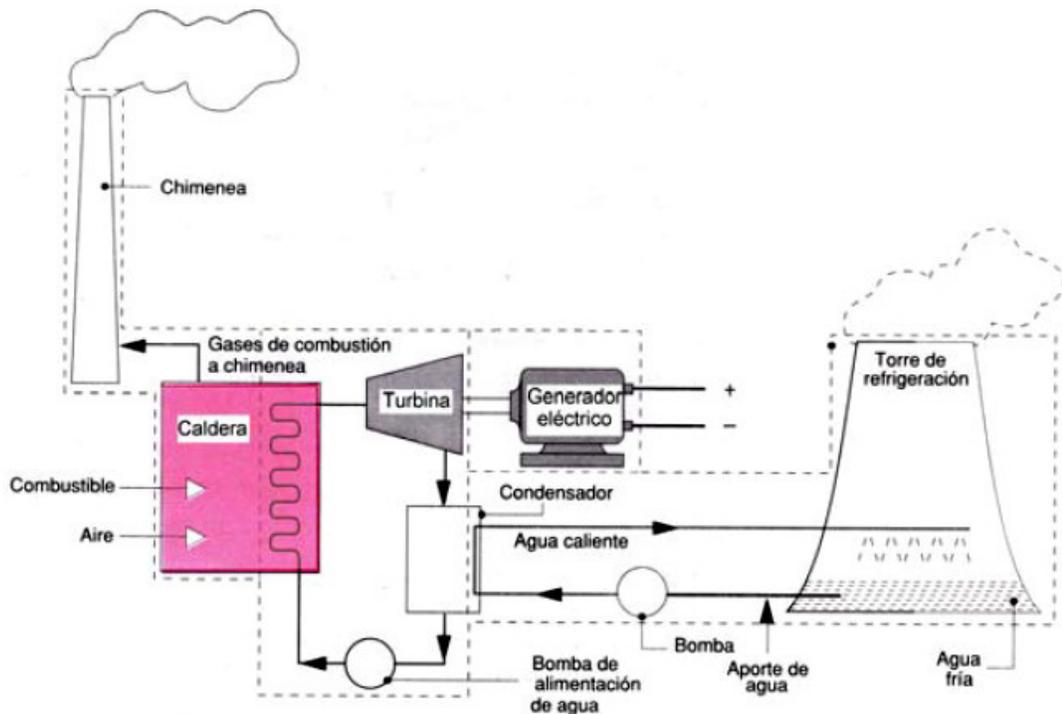
$$HP_{prueba} = \frac{440 \text{ V} * 215 \text{ A}}{460 \text{ V} * 230 \text{ A}} * 200 \text{ HP}$$

$$HP_{prueba} = 180 \text{ HP.}$$

3. El Ciclo de Rankine.

El ciclo de Rankine es el ciclo ideal que sirve de base al funcionamiento de las centrales térmicas, las cuales, producen actualmente la mayor parte de la energía eléctrica que se consume en el mundo.

La evolución de las centrales térmicas ha estado condicionada por la búsqueda de mejoras en el rendimiento térmico del ciclo termodinámico, ya que incluso pequeñas mejoras en el rendimiento significan grandes ahorros en los requerimientos de combustible. La idea básica detrás de todas las modificaciones para incrementar el rendimiento de un ciclo de potencia es aumentar la temperatura promedio a la cual el calor se transfiere al fluido de trabajo en la caldera, o disminuir la temperatura promedio a la cual el fluido de trabajo cede calor al condensador. Esto se consigue con una selección cuidadosa de las condiciones de operación de la caldera (presión y temperatura a la que genera el vapor), y del condensador (presión de operación), así como con la incorporación de recalentamientos entre diferentes etapas de expansión y calentamientos regenerativos del agua de alimentación.



Esquema de una central térmica de vapor sencilla.

Regeneración.

Plantea que puede precalentar el líquido que entra en la caldera usando uno (o más) intercambiadores (abiertos o cerrados) en los cuales entra en contacto térmico con un drenaje intermedio de la turbina.

4. Par Nominal de los motores de la Torre de Enfriamiento.

El par a plena carga de los motores se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

Datos :

PCT = Par de carga total

P = Potencia Mecánica (200 HP)

N = Velocidad Nominal (1782 RPM)

$$PCT = \frac{5252 * P}{N} = \frac{5252 * 200}{1782}$$

$$PCT = 589.45 \text{ lb} - \text{pie}$$

$$PCT = 799.18 \text{ Newton} - \text{metro}$$

5. Eficiencia de los motores de la Torre de Enfriamiento.

La eficiencia se calcula de la siguiente forma:

$$\eta = \frac{P \text{ salida}}{P \text{ entrada}} = \frac{149.2 \text{ kW}}{\sqrt{3} * V * I * \cos \varphi} = \frac{149.2 * 1000}{\sqrt{3} * 460 * 230 * 0.86}$$

$$\eta = 94\%$$

1- Tabla Rangos de Corrientes de Arranadores Suaves de la Línea MCD3000 del Fabricante Danfuss.

■ Rangos de Corriente

Rangos Continuos (Sin bypass), 40°C Temperatura Ambiente, < 1000 metros ★			
Modelo	3,0 x FLC	4,0 x FLC	4,5 x FLC
	AC53a 3,0-30 : 50-10	AC53a 4,0-20 : 50-10	AC53a 4,5-30 : 50-10
MCD3007	20A	16A	14A
MCD3015	34A	28A	25A
MCD3018	39A	33A	29A
MCD3022	47A	40A	35A
MCD3030	68A	54A	48A
MCD3037	86A	70A	61A
MCD3045	93A	76A	65A
MCD3055	121A	100A	86A
MCD3075	138A	110A	97A
MCD3090	196A	159A	138A
MCD3110	231A	188A	163A
MCD3132	247A	198A	174A
MCD3185	364A (546A IDC ¹)	299A (448A IDC ¹)	255A (382A IDC ¹)
MCD3220	430A (645A IDC ¹)	353A (529A IDC ¹)	302A (453A IDC ¹)
MCD3300	546A (819a IDC ¹)	455A (682A IDC ¹)	383A (574A IDC ¹)
MCD3315	630A (945A IDC ¹)	530A (795A IDC ¹)	442A (663A IDC ¹)
MCD3400	775A (1162A IDC ¹)	666A (999A IDC ¹)	545A (817A IDC ¹)
MCD3500	897A (1345A IDC ¹)	782A (1173A IDC ¹)	632A (948A IDC ¹)
MCD3600	1153A (1729a IDC ¹)	958A (1437A IDC ¹)	826A (1239A IDC ¹)
MCD3700	1403A (2104A IDC ¹)	1186A (1779A IDC ¹)	1013A (1519A IDC ¹)
MCD3800	1564A (2346A IDC ¹)	1348A (2022A IDC ¹)	1139A (1708A IDC ¹)

2- Grado de Protección contra Sobrevoltaje Transitorios.

Tabla de resistencia a los impulsos (onda 8/20) de los materiales a proteger en redes trifásicas con 230/440V - según la norma CEI 60364-4

Categoría de tensión soportada a los impulsos	categoría I reducida	categoría II normal	categoría III elevada	categoría IV muy elevada
Tipo de receptores	aparatos de circuitos electrónicos: televisión, alarma, HI-FI, video, informática, telecomunicación	aparatos electrodomésticos: lavavajillas, horno, refrigerador, herramientas portátiles	aparatos industriales: motor, armario de distribución, tomas de corriente, transformador	aparatos industriales: contador eléctrico, medida a distancia
Uimpulso				
Tensión soportada a los impulsos	1,5 kV	2,5 kV	4 kV	6 kV

2.1- Nivel de Protección contra cortocircuitos recomendada para transformadores de control.

VA	Maximum Current Rating of Fuse		
	24 VAC	115 VAC	230 VAC
50	2	0.5	0.25
100	4	1	0.5
150	6	1.6	0.8
250	10	2	1
500	20	4	2
750	--	6	4

3- Estándar de Protección.

IP (Ingress Protection). El sistema de clasificación IP proporciona un medio de clasificar el grado de protección de sólidos (como polvo) y líquidos (como agua) que el equipo eléctrico y gabinetes deben reunir. El sistema es reconocido en la mayoría de los países y está incluido en varios estándares, incluyendo el IEC 60529.

Los números IP son frecuentemente indicados en gabinetes, conectores, etc. El tercer dígito, referente a la protección contra impactos mecánicos es generalmente omitido.

	Primer Número - Protección contra sólidos	Segundo Número - Protección contra líquidos	Tercer Número - Protección contra impactos mecánicos
0	Sin Protección	Sin Protección	Sin Protección
1	Protegido contra objetos sólidos de más de 50mm	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente	Protegido contra impactos de 0.225 joules
2	Protegido contra objetos sólidos de más de 12mm	Protegido contra rocíos directos a hasta 15° de la vertical	Protegido contra impactos de 0.375 joules
3	Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5mm	Protegido contra rocíos directos a hasta 60° de la vertical	Protegido contra impactos de 0.5 joules
4	Protegido contra objetos sólidos de más de 1mm	Protegido contra rocíos directos de todas las direcciones - entrada limitada permitida	Protegido contra impactos de 2.0 joules
5	Protegido contra polvo - entrada limitada permitida	Protegido contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones - entrada limitada permitida	Protegido contra impactos de 6.0 joules
6	Totalmente protegido contra polvo	Protegido contra fuertes chorros de agua de todas las direcciones - entrada limitada permitida	Protegido contra impactos de 20.0 joules
7		Protegido contra los efectos de la inmersión de 15cm - 1m	
8		Protegido contra largos periodos de inmersión bajo presión	

4- Características de Cables de Control.

Conductor 18 AWG

Esesor Nominal de aislamiento 0,42 mm

NÚMERO DE PARES	ESPEOR DE LA CHAQUETA	DIÁMETRO EXTERIOR	MÁXIMA TENSIÓN DE HALADO	MÍNIMO RADIO DE CURVATURA	PESO TOTAL
No.	mm	mm	kgf	mm	kg/km
2	1.27	10.88	34	109	134
4	1.27	12.06	64	121	180

4.1- Método de identificación de Cables para Control e Instrumentación.

Cables para Instrumentación a pares

Conductor A en color base, conductor B en color Base con trazo de color según ICEA S-73-532 y S-82-552.

PAR No.	CONDUCTOR A	CONDUCTOR B Base/Trazo	PAR No.	CONDUCTOR A	CONDUCTOR B Base/Trazo
1	Blanco	Blanco/Negro	3	Blanco	Blanco/Azul
2	Blanco	Blanco/Rojo	4	Blanco	Blanco/Naranja

5- Convertidor de Señales Analógicas.

PRetop

5331A

TRANSMISOR DE 2 HILOS PROGRAMABLE



- Entrada RTD, TC, Ohm o mV
- Precisión en la medida extremadamente alta
- Aislamiento galvánico de 1,5 kVCA
- Valor de error en el sensor programable
- Montaje sobre cabezales DIN form. B



Aplicación:

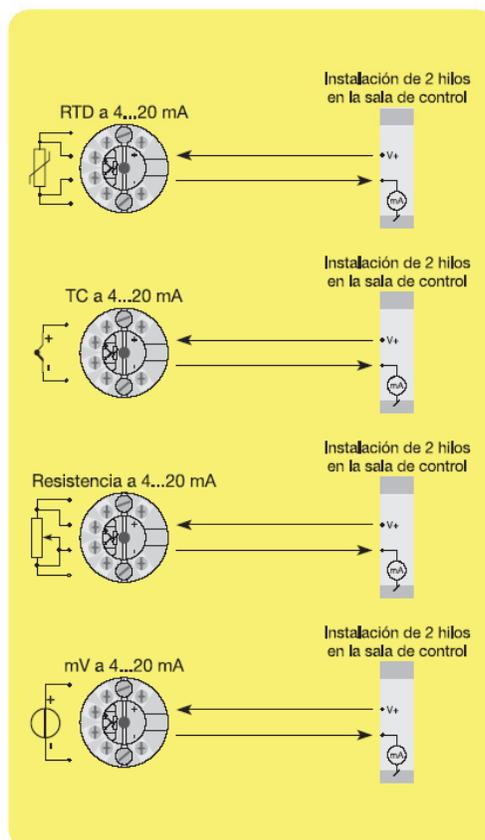
- Medida de temperatura linealizada con Pt100...Pt1000, Ni100...Ni1000 ó sensor termopar.
- Conversión de la variación de la resistencia lineal a señal de corriente analógica estándar, por ejemplo de válvulas o sensores de nivel óhmicos.
- Amplificación de señal de mV bipolar a señal de corriente estándar 4...20 mA.

Características técnicas:

- En sólo unos pocos segundos el usuario puede programar PR5331A para medir temperaturas dentro de todos los rangos definidos por la normativa.
- Las entradas de resistencia y RTD tienen compensación de hilo para 2, 3 y 4 hilos de conexión.
- Chequeo continuo de datos de retardo acumulado por razones de ahorro.

Montaje / instalación:

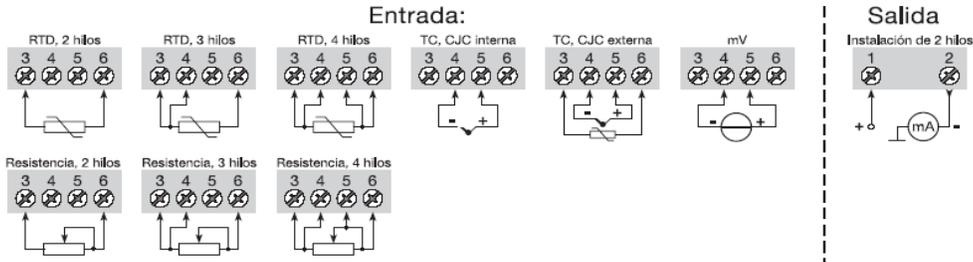
- Para cabezales de sensor DIN formato B o rail DIN montado con un conector especial.



Pedido: 5331A

Tipo	Temperatura ambiente	Aislamiento galvánico
5331A	-40°C...+85°C : 3	1500 VCA : B

Conexiones:



Especificaciones eléctricas:

Rango de especificaciones:

-40°C a +85°C

Especificaciones comunes:

Voltaje de alimentación, CC 7,2...35 V
 Caída de tensión 7,2 VCC
 Voltaje de aislamiento, test / operación 1,5 kVCA / 50 VCA
 Interfase de comunicaciones Loop Link
 Relación señal / ruido Min. 60 dB
 Señal dinámica, entrada 20 bits
 Señal dinámica, salida 16 bits
 Temperatura de calibración 20...28°C
 Precisión, la mayor de los valores generales y básicos:

Valores generales		
Tipo de entrada	Precisión absoluta	Coefficiente de temperatura
Todas	≤ ±0,05% d. intervalo	≤ ±0,01% d. intervalo/°C

Valores básicos		
Tipo de entrada	Precisión básica	Coefficiente de temperatura
RTD	≤ ±0,2°C	≤ ±0,01°C/°C
R lin.	≤ ±0,1 Ω	≤ ±10 mΩ/°C
Volt	≤ ±10 μV	≤ ±1 μV/°C
Tipo TC:		
E, J, K, L, N, T, U	≤ ±1°C	≤ ±0,05°C/°C
Tipo TC: B, R, S,		
W3, W5, LR	≤ ±2°C	≤ ±0,2°C/°C

Influencia sobre la inmunidad - EMC < ±0,5% d. intervalo
 Inmunidad EMC extendida:
 NAMUR NE 21, criterio A, explosión < ±1% d. intervalo

Vibración IEC 60068-2-6 Test FC
 Especificación n° 1 de Lloyd's 4 g / 2...100 Hz
 Humedad < 95% RH (no cond.)
 Dimensiones Ø 44 x 20,2 mm
 Hermeticidad (recinto / terminales) ... IP68 / IP00

Especificaciones eléctricas, entrada:

Offset máx. 50% d. valor máx. selec.

Entrada RTD y resistencia lineal:

Tipo RTD	Valor mín.	Valor máx.	Intervalo mín.
PT100	-200°C	+850°C	25°C
Ni100	-60°C	+250°C	25°C
R. lin.	0 Ω	5000 Ω	30 Ω

Resistencia del hilo (máx.) 5 Ω
 Corriente del sensor 0,2 mA nom.

Entrada TC:

Tipo	Temperatura mín.	Temperatura máx.	Intervalo mín.	Normativa
B	+400°C	+1820°C	200°C	IEC584
E	-100°C	+1000°C	50°C	IEC584
J	-100°C	+1200°C	50°C	IEC584
K	-180°C	+1372°C	50°C	IEC584
L	-100°C	+900°C	50°C	DIN 43710
N	-180°C	+1300°C	100°C	IEC584
R	-50°C	+1760°C	200°C	IEC584
S	-50°C	+1760°C	200°C	IEC584
T	-200°C	+400°C	50°C	IEC584
U	-200°C	+600°C	75°C	DIN 43710
W3	0°C	+2300°C	200°C	ASTM E988-90
W5	0°C	+2300°C	200°C	ASTM E988-90
LR	-200°C	+800°C	50°C	GOST 3044-84

Compensación soldadura fría < ±1,0°C

Entrada de voltaje:

Rango de medida -12...+800 mV
 Intervalo mín. 5 mV

Salida de corriente:

Rango de la señal 4...20 mA
 Rango mín. de la señal 16 mA
 Tiempo de actualización 440 ms
 Resistencia de carga ≤ (Valiment. - 8) / 0,023 [Ω]

Detección de error en el sensor:

Programable 3,5...23 mA

Aprobación marina:

Det Norske Veritas, Ships & Offshore ... Stand. for Certification 2.4

Requerimientos observados: Estándar:

EMC 2004/108/CE
 Emisión e inmunidad EN 61326

Intervalo = Del rango seleccionado presencialmente

6- Datos Técnicos del LOGO 12/24 RC y el Módulo de Ampliación AM2.

	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo	LOGO! DM8 12/24R
Fuente de alimentación		
Tensión de entrada	12/24 V c.c.	12/24 V c.c.
Margen admisible	10,8 ... 15,6 V c.c. 20,4 ... 28,8 V c.c.	10,8 ... 15,6 V c.c. 20,4 ... 28,8 V c.c.
Protección contra inversión de polaridad	sí	sí
Consumo de corriente		
• 12 V c.c.	10 ... 100 mA	30 ... 100 mA
• 24 V c.c.	10 ... 75 mA	30 ... 75 mA
Compensación de fallos de tensión		
• 12 V c.c.	habitual. 2 ms habitual. 5 ms	habitual. 2 ms habitual. 5 ms
• 24 V c.c.		
Potencia disipada		
• 12 V c.c.	0,1 ... 1,2 W	0,4 ... 1,2 W
• 24 V c.c.	0,2 ... 1,8 W	0,8 ... 1,8 W
Tamponaje del reloj a 25 °C	habitual. 80 h	
Exactitud del reloj de tiempo real	máx. ±5 s / día	
Separación galvánica	no	no
Entradas digitales		
Cantidad	8	4
Separación galvánica	no	no
Tensión de entrada L+		
• señal 0	<5 V c.c.	<5 V c.c.
• señal 1	>8 V c.c.	>8 V c.c.

	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo	LOGO! DM8 12/24R
Intensidad de entrada para		
• señal 0	< 1, 0 mA (I1...I6) < 0,05 mA (I7, I8)	<1,0 mA
• señal 1	> 1,5 mA (I1...I6) > 0,1 mA (I7, I8)	>1,5 mA
Tiempo de retardo para		
• cambio de 0 a 1	habitual. 1,5 ms <1,0 ms (I5,I6) habitual. 300 ms (I7,I8)	habitual. 1,5 ms
• cambio de 1 a 0	habitual. 1,5 ms <1,0 ms (I5,I6) habitual. 300 ms (I7,I8)	habitual. 1,5 ms
Longitud del conductor (sin blindaje)	100 m	100 m
Entradas analógicas		
Cantidad	2 (I7, I8)	
Margen	0 ... 10 V c.c.	
Tensión de entrada máx.	28,8 V CC	
Salidas digitales		
Cantidad	4	4
Tipo de las salidas	Salidas a relé	Salidas a relé
Separación galvánica	sí	sí
En grupos de	1	1
Activación de una entrada digital	sí	sí
Tensión de salida		
Intensidad de salida		

	LOGO! AM 2
Fuente de alimentación	
Tensión de entrada	12/24 V c.c.
Margen admisible	10,8 ... 15,6 V CC 20,4 ... 28,8 V c.c.
Consumo de corriente	25 ... 50 mA
Compensación de fallos de tensión	habitual. 5 ms
Potencia disipada en caso de	
• 12 V	0,3 ... 0,6 W
• 24 V	0,6 ... 1,2 W
Separación galvánica	no
Protección contra inversión de polaridad	sí
Borne PE	para la conexión de tierra y del blindaje de los cables de la línea de medición analógica.
Entradas analógicas	
Cantidad	2
Tipo	unipolar
Rango de entrada	0–10 V o bien 0–20 mA
Resolución	10 bits normalizados a 0–1000
Tiempo de ciclo para la formación de valores analógicos	50 ms
Separación galvánica	no
Longitud de la línea (blindada y trenzada)	10 m
Alimentación del encoder	Ninguna

7- Integrado utilizado para el disparo de Tiristores. TCA785.

El circuito integrado TCA785 se emplea generalmente en circuitos de disparo de tiristores para el control de fase, ya que es capaz de proporcionar las señales necesarias para poner en conducción tiristores con un ángulo de disparo controlado.

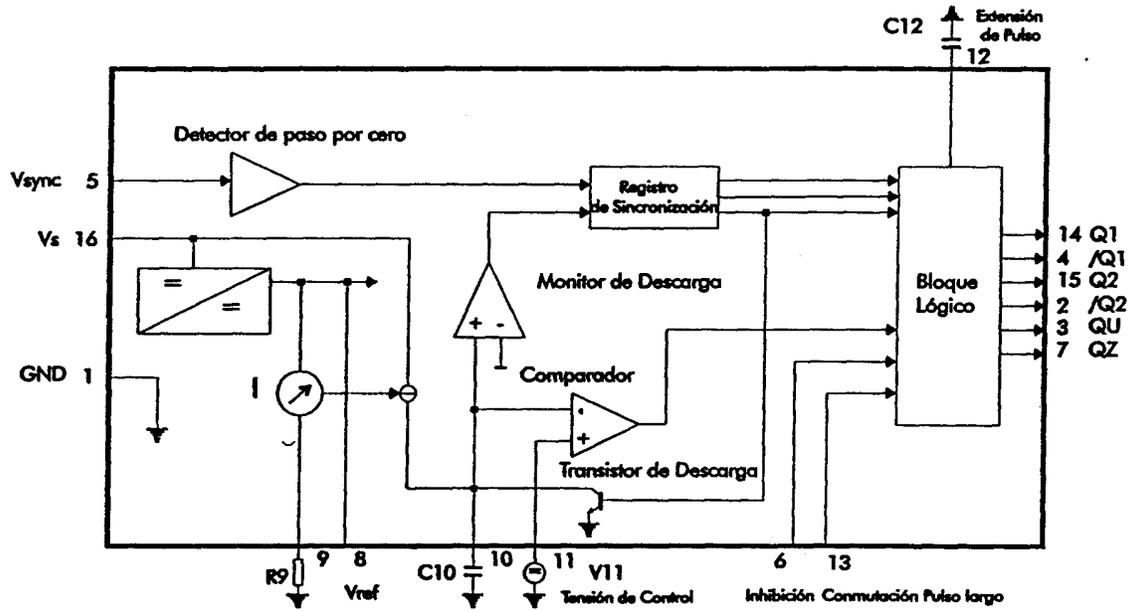


Diagrama de bloques del TCA785.

8- Tabla de Fusibles para Semiconductores.

Bussmann®

FWH 500V 35-1600A 

Type	Electrical Characteristics				Ordering Information			Dimensions	Curves
	Rated Current RMS-Amps	I ² t (A ² Sec)		Watts Loss	Part Number	Carton Qty.	Carton Weight (lbs)	Figure Number	BIF #
		Pre-arc	Clearing at 500V						
FWH 500V	35	34	150	8	FWH-35B	5	0.71	Fig. 1	35785304
	40	76	320	7.5	FWH-40B				
	45	105	450	7.5	FWH-45B				
	50	135	670	7.5	FWH-50B				
	60	210	900	9.9	FWH-60B				
	70	210	900	10.6	FWH-70B	1	0.21		
	80	305	1400	12.7	FWH-80B				
	90	360	1600	15	FWH-90B				
	100	475	2000	17	FWH-100B				
	125	800	3500	25	FWH-125B				
	150	1100	4600	30	FWH-150B				
	175	1450	6200	35	FWH-175B				
	200	1900	8500	40	FWH-200B				
	225	4600	23300	39	FWH-225A	0.57			
	250	6300	32200	41	FWH-250A				
	275	7900	40300	46	FWH-275A				
	300	9800	49800	51	FWH-300A				
	325	13700	63800	53	FWH-325A		1.00		
	350	14500	72900	58	FWH-350A				
	400	19200	96700	65	FWH-400A				
450	24700	127000	74	FWH-450A					
500	29200	149000	84	FWH-500A	2.14				
600	41300	206000	108	FWH-600A					
700	55000	298000	120	FWH-700A					
800	76200	409000	129	FWH-800A					
1000	92000	450000	145	FWH-1000A		4.62			
1200	122000	600000	180	FWH-1200A					
1400	200000	1000000	210	FWH-1400A					
1600	290000	1400000	230	FWH-1600A	11.66		Fig. 2	35785304	

U.L. Recognition on 35 through 1200 amperes only.
 CSA Component Acceptance: 35 - 1600A.

- Interrupting rating 200kA RMS Symmetrical.
- Watts loss provided at rated current.
- (500 Vdc/Interrupting rating 50kA) U.L. Recognition on 35 through 800 amperes only.

1 kg = 2.2 lbs 1 lb = 0.45 kg

9- Datos Técnicos de Fuente de Alimentación 24 VDC.

Datos técnicos		(E)
Conexión a la red (ACin)		Salida (DCout)
Tensión de entrada V_{in} <ul style="list-style-type: none"> • Selector a 230 V 115V • Valor nominal AC 230 V AC 115 V • Frecuencia 47-63 Hz • Servicio contin. AC 176-264 85-132 V • Servicio contin. DC 240-375 - 9 V 		Tensión nominal V_{out} 24 V <ul style="list-style-type: none"> • Margen de regul. min. 24 V... 28 V^f • Margen de regul. max. 21,4 V... 30,8 V^f • preajustado^a 24,5 V \pm 0,5% • Precisión de regulación 2 % • Ondulación residual^c < 30 mV_{PP}
Corriente de entrada I_{in} <ul style="list-style-type: none"> • Valor nominal < 2,8 A < 6 A • Corr. de conexión < 30 A < 30 A (tip.) (arranque en frío) 		Carga admisible I_{out} a $T_{amb}=0^{\circ}\text{C}-60^{\circ}\text{C}$ (45°C) <ul style="list-style-type: none"> • $T_{amb}=0^{\circ}\text{C}-60^{\circ}\text{C}$ 10 A (8,6 A) • $T_{amb}=0^{\circ}\text{C}-45^{\circ}\text{C}^b$ 12 A (10,3 A)^b • Limitación de corriente a 60°C tip. 12,5...16 A (véase curva característica Fig. 1)
Factor de potencia (PFC): El aparato no satisface EN 61000-3-2		<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento con sobrecarga/cortocircuito No se para, dispositivo sigue funcionando • Reducción de carga ($T_{amb}=60^{\circ}\text{C}-70^{\circ}\text{C}$) tip. 12 W/K
Protección externa no necesaria (protección interna ^d); recomendación (para cable de alimentación): interruptor 1-polar automático con característica C, 10 A		Curva característica: véase Fig. 1 Conexión en paralelo/serie: véase aplicación aparte (en su caso, pedir)
Cables de conexión^d <ul style="list-style-type: none"> • cable flexible 1,5... 4 mm² • cable rígido 1,5... 6 mm² • retirar la cubierta 6 mm (¡no más!) aislante del cable 		Cables de conexión^d <ul style="list-style-type: none"> • cable flexible 1,5... 4 mm² • cable rígido 1,5... 6 mm² • retirar la cubierta aislante del cable 6 mm (¡no más!)
Tamaño, peso		Distancia para la refrigeración
Ancho w 122 mm Altura h 125 mm Profundidad d 103 mm + guía Peso 960 g		La temperatura de los laterales de la carcasa no debe exceder los 90° C (medidos directamente en el metal) Distancias recomendadas: <ul style="list-style-type: none"> • izquierda/derecha 15 mm en cada lado • arriba/abajo 25 mm en cada lado
Normas, Autorizaciones		Condiciones Ambientales
El aparato cumple con las normas siguientes: Compatibilidad electromagnética EMC: EN50081-1 y -2 (Emisión perturbadora) EN50082-1 y -2 (Resistencia a perturb.) VDE 0160/W2 (Resistencia a transientes) Seguridad (autorizaciones): EN 60950, EN 50178, EN 55011, UL 1950, UL 508, CUL CSA-C22.2 No. 950-M90, La caracterización CE se efectúa conforme a las directrices sobre la compatibilidad electromagnética y de las normas para baja tensión.		Temperatura ambiente T_{amb} <ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento/transporte -25°C...+85°C • Plena carga 0°C...60°C • Carga reducida 60°C...70°C
Anotaciones: a) salvo que figuren otros datos sobre el aparato b) durante <1 min también admisible a 60 °C c) Régimen individual, 100 MHz ancho de banda, medición 50 Ω d) Véase ficha "Instalación y funcionamiento" para más información e) Modo Hiccup = apagar, con intentos periódicos de puesta en marcha f) Ajuste realizado mediante potenciómetro frontal (⊙); para acceder, quitar la caperuza protectora, después, volver a colocarla. g) No admitido		Tipo de protección: IP20 (EN60529), ¡Proteger contra la humedad (y la formación de agua de condensación)!
Seguridad/Protección		Seguridad/Protección
¡Observe los avisos de seguridad! Véase ficha „Instalación y funcionamiento“		
Seguridad y protección, Protección contra		<ul style="list-style-type: none"> • sobrecarga ✓ (Hiccup^e) hasta tip. 35 V • cortocircuito sostenido ✓ • tensión sin carga ✓ • sobretensión ✓ (Hiccup^e) hasta tip. 34 V • tensiones de retorno T8A3 (IEC127), borne L^d • Protección de entrada interna 1 (IEC 536) • Clase de protección SELV (EN60960, VDE 0100 Part 410), PELV (VDE 0160)

10- Precios de Energía en el Mercado de Ocasión (US\$ / mW-H).

PERIODO: ABRIL DEL 2006

HRS	01-Abr	02-Abr	03-Abr	04-Abr	05-Abr	06-Abr	07-Abr	08-Abr	09-Abr	10-Abr	11-Abr	12-Abr	13-Abr	14-Abr	15-Abr	16-Abr	17-Abr	18-Abr	19-Abr	20-Abr	21-Abr	22-Abr	23-Abr	24-Abr	25-Abr	26-Abr	27-Abr	28-Abr	29-Abr	30-Abr	
01:00	81.53	81.27	79.54	79.54	81.97	82.93	82.93	82.93	82.93	80.11	82.22	83.38	83.80	82.22	82.22	82.67	84.70	84.70	84.70	91.64	116.48	116.61	109.37	109.37	95.96	115.62	115.62	184.71	155.09	172.45	142.84
02:00	81.53	81.27	78.46	80.56	79.54	79.55	82.25	82.93	80.11	82.22	83.01	82.22	83.12	82.22	82.22	80.41	82.22	84.70	84.70	109.28	116.61	109.37	99.43	96.28	115.62	115.62	164.28	125.48	125.48	125.48	
03:00	77.54	81.27	77.58	79.54	79.55	79.54	82.93	79.54	82.93	79.54	82.22	82.22	82.22	82.22	80.41	82.22	84.70	84.70	85.18	116.61	116.61	109.37	97.42	102.84	102.99	115.62	125.48	125.48	125.48	0.00	
04:00	76.65	81.27	77.58	79.54	79.55	79.55	79.55	82.93	79.55	79.55	82.22	82.22	82.22	82.22	82.22	82.22	84.70	84.70	84.70	84.70	84.70	116.61	109.37	99.19	96.15	104.14	115.62	125.48	125.48	125.48	
05:00	81.53	81.27	79.45	79.55	79.55	82.64	82.93	82.93	79.55	83.09	82.22	82.49	82.22	82.22	82.22	82.22	84.70	84.70	92.48	93.20	116.61	109.37	99.47	96.62	115.62	115.62	125.48	125.48	125.48	125.48	
06:00	81.35	81.27	79.55	82.93	81.57	76.95	82.14	79.55	83.67	83.80	40.29	82.22	80.79	79.91	82.04	84.70	84.70	84.70	115.04	113.76	116.61	105.52	92.71	103.94	115.62	115.62	151.01	125.48	125.48	125.48	
07:00	79.94	81.27	79.55	80.67	87.77	79.55	81.12	80.05	82.31	82.67	82.83	82.59	82.22	79.36	77.07	78.46	84.70	116.48	104.39	116.48	116.61	91.10	84.70	107.93	115.62	115.62	125.48	125.48	125.48	121.58	
08:00	82.64	81.27	82.47	86.50	86.64	85.10	83.01	82.93	83.65	109.52	83.80	83.80	82.22	79.36	81.60	81.10	118.31	119.53	118.34	152.02	145.14	107.38	84.80	121.05	123.43	115.62	134.51	155.75	139.78	112.13	
09:00	110.73	81.27	104.60	114.78	105.13	112.63	112.24	110.64	104.93	127.88	125.68	84.20	82.22	80.03	82.22	82.22	119.47	124.00	124.00	124.00	178.85	134.00	97.42	158.98	159.48	139.89	186.51	191.35	160.62	123.53	
10:00	102.26	81.46	114.80	114.80	114.80	114.80	114.80	114.80	113.94	127.88	127.88	111.30	82.22	82.22	82.22	82.22	119.47	124.00	124.00	124.00	178.85	171.43	97.54	181.87	181.87	186.75	189.51	241.94	186.75	125.48	
11:00	82.68	81.56	120.00	121.07	125.00	124.00	125.00	114.80	113.94	127.88	127.88	125.10	82.22	82.22	82.22	82.22	124.00	124.00	178.85	224.05	171.43	101.45	181.87	181.87	186.75	186.75	241.94	186.75	125.48	125.48	
12:00	101.48	81.56	122.76	123.07	130.00	144.50	130.00	114.80	113.94	127.88	127.88	125.00	82.22	82.22	82.22	82.22	124.00	124.00	178.85	224.05	171.43	109.37	181.87	181.87	186.75	224.46	241.94	186.75	125.48	125.48	
13:00	89.06	81.56	122.76	122.94	125.00	135.00	125.00	114.80	91.19	127.88	127.88	101.66	82.22	82.22	82.22	82.22	124.00	124.00	178.85	178.85	152.44	109.37	181.87	181.87	186.75	241.94	241.94	186.75	125.48	125.48	
14:00	81.56	81.56	122.76	120.87	125.00	124.00	130.00	114.80	114.80	127.88	127.88	83.80	82.22	82.22	82.22	82.22	124.00	124.00	178.85	178.85	165.39	99.60	201.90	181.87	186.75	193.19	241.94	186.75	125.48	125.48	
15:00	81.56	81.56	132.34	123.10	130.00	130.00	130.00	99.72	79.54	127.88	127.88	83.80	82.22	82.22	82.22	82.22	124.00	124.00	178.85	178.85	171.43	107.41	181.87	181.87	186.75	186.75	241.94	186.75	125.48	125.48	
16:00	81.56	81.56	132.34	123.10	130.00	130.00	130.00	84.00	79.55	127.88	127.88	83.80	82.22	82.22	82.22	82.22	124.00	124.00	178.85	178.85	171.43	101.53	181.87	181.87	186.75	186.75	241.94	147.54	125.48	125.48	
17:00	81.56	81.43	126.49	116.71	117.83	124.00	124.39	82.93	80.11	127.88	127.88	83.80	82.22	82.22	82.22	82.22	124.00	124.00	178.85	178.85	167.12	105.39	181.87	181.87	186.75	186.75	241.94	125.48	125.48	125.48	
18:00	81.56	84.79	107.97	114.08	114.28	114.43	114.40	86.21	85.46	127.88	109.48	83.80	82.35	82.22	85.12	82.30	124.00	124.00	131.38	173.61	127.96	109.37	160.20	181.87	186.75	227.22	203.31	140.80	125.48	125.48	
19:00	133.30	114.85	149.65	157.74	165.04	171.13	167.31	147.85	114.63	164.79	159.09	139.18	112.00	109.70	119.93	116.23	163.75	124.00	178.00	206.65	179.32	165.61	196.19	213.78	193.49	241.94	228.83	186.75	125.48	125.48	
20:00	134.68	115.43	182.80	175.00	190.00	190.00	185.00	165.00	114.80	178.94	172.76	155.75	127.88	127.88	127.88	127.88	177.77	124.00	211.24	224.05	224.05	171.43	232.55	210.99	197.83	241.94	241.94	200.00	176.54	176.54	
21:00	115.43	115.43	144.22	167.09	178.33	167.45	175.00	114.80	114.80	167.15	154.77	127.88	95.91	97.32	124.89	127.88	171.64	124.00	156.04	224.05	218.77	224.05	171.43	181.87	229.42	186.75	238.81	241.94	186.75	186.75	
22:00	114.85	113.18	114.22	114.38	111.83	114.80	114.80	114.73	113.97	126.62	127.48	126.09	95.46	83.80	98.95	112.36	122.99	123.60	124.00	186.38	174.77	189.97	156.62	174.71	200.89	186.75	186.75	217.10	186.75	186.75	
23:00	88.23	101.73	86.72	91.08	89.18	112.72	114.80	113.94	91.31	84.52	102.83	101.64	83.80	83.80	83.80	87.60	116.90	118.48	119.76	137.10	118.51	130.60	119.65	127.08	141.02	186.75	159.18	185.61	186.75	186.75	
24:00	81.56	81.37	82.64	82.93	82.93	82.93	93.02	82.93	82.93	91.06	83.80	83.80	83.59	82.72	83.80	83.80	116.48	112.16	116.48	112.65	116.61	111.77	112.11	115.62	115.62	129.56	125.48	151.80	186.75	140.80	

PRECIO DE POTENCIA DE OCASION (US\$ / MW)

01-Abr	02-Abr	03-Abr	04-Abr	05-Abr	06-Abr	07-Abr	08-Abr	09-Abr	10-Abr	11-Abr	12-Abr	13-Abr	14-Abr	15-Abr	16-Abr	17-Abr	18-Abr	19-Abr	20-Abr	21-Abr	22-Abr	23-Abr	24-Abr	25-Abr	26-Abr	27-Abr	28-Abr	29-Abr	30-Abr	
PRECIO	100.00	230.00	230.00	236.00	236.00	236.00	236.00	230.00	100.00	230.00	236.00	95.00	95.00	10.00	95.00	95.00	100.00	236.00	236.00	95.00	236.98	236.98	236.98	236.98	236.98	95.00	236.98	236.98	236.98	95.00

11- Consumo de los Equipos de la Torre de Enfriamiento.

Item	Hora	Carga en MW	Unidad No. 3 KWh*10	Transformador de Unidad KWh.	Torre de Enfriamiento KWh.
1	12:00	20.00	18,543.06	1,456.94	297.252
2	20:00	40.00	31,801.40	8,198.60	461.196
Observaciones: Datos obtenidos de hojas de lecturas del 22 de Mayo de 2005 Dpto. de Operaciones y Lecturas Efectuadas por el Dpto. de Comercialización a los contadores de energía.					

Para efectos de cálculos y estimaciones de los consumos en diferentes cargas de los auxiliares de la Unidad No. 3

Amoniaco: Compuesto de nitrógeno e hidrogeno de formula (NH_3) que en condiciones normales es un gas incoloro, irritante y de olor irritante característico, se utiliza como agente frigorífico.

Angulo de Barrido: Angulo formado por el aspa del ventilador y el plano de rotación.

Angulo de Disparo: Es el numero de Grados de un ciclo de corriente alterna que transcurren antes que el tiristor sea encendido.

Biocidos: Sustancia que introducida en el medio ambiente, destruye formas de vida no deseadas, puede acumularse a través de la cadena de alimentación y dañar de forma selectiva a determinados organismos.

Carbón Activado: Carbón amorfo granular o pulverizado, caracterizado por su elevada superficie especifica, consecuencia de su gran cantidad de poros capilares. Se utiliza como absorbente en la industria química o alimentaria y en procesos de decoloración o recuperación de sustancia volátiles.

Celdas en el sistema de Enfriamiento: La subdivisión más pequeña de una torre de enfriamiento, la cual puede funcionar de manera independiente. Esta limitada por paredes exteriores o particiones. Cada celda puede tener uno o más ventiladores o cilindros de ventilador y uno o más sistemas de distribución.

Floculación: Precipitación de las partículas sólidas que se encuentran dispersas en un líquido, producida por agentes físicos (calor) o químicos (floculantes) formando floculos y que precede a la coagulación.

Golpe de Ariete: Es una fuerza vibradora generada en una conducción cuando un fluido no compresible es parado abruptamente. Cuando se tiene una desaceleración brusca en un fluido no compresible, debido a un cierre rápido la energía cinética que traía el fluido choca contra una barrera que puede ser una válvula, una compuerta y se convierte en energía elástica que viaja en la dirección contraria al flujo hasta que encuentre otra barrera. Pero ahí no para, sino que se devuelve en menor cantidad hasta que luego de unos ciclos se disipa.

Mosto: Conjunto de caldos obtenidos mezclando materias vegetales con agua y que sirven para fabricar alcohol o bebidas alcohólicas.

Osmosis: Fenómeno de difusión de un disolvente a través de una membrana semipermeable que separa dos de sus disoluciones de diferente concentración. La membrana semipermeable tiene la propiedad de dejar pasar el agua de una disolución, pero no las sustancias disueltas en ella.

Osmosis inversa: técnica utilizada en los procesos de desalación del agua del mar y purificación de aguas residuales. Consiste en la aplicación, a la disolución salina, de una presión superior a la presión osmótica. Esto determina un flujo de agua inverso al de la osmosis, con lo que aquella se separa de las sustancias disueltas.

Torre de Enfriamiento de Flujo Cruzado: es cuando el flujo de aire que pasa a través de los lados de la torre lo hace en un plano perpendicular con respecto a la caída de agua.