



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Mecánica Eléctrica

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE  
AUTOMATIZACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE MORTEROS SECOS EN  
CEMENTOS PROGRESO**

**Carlos Enrique Grijalva Chapot**

Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE  
AUTOMATIZACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE MORTEROS SECOS EN  
CEMENTOS PROGRESO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CARLOS ENRIQUE GRIJALVA CHAPOT**  
ASESORADO POR EL ING. KENNETH ESTRADA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En Cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE  
AUTOMATIZACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE MORTEROS SECOS EN  
CEMENTOS PROGRESO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica, el 06 de octubre de 2005

Carlos Enrique Grijalva Chapot

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios**                    Porque es el autor y consumidor de todas las cosas, la mente creadora de todo lo que existe.
- La vida**                    Porque no me ha dado todo lo que deseo, pero me ha dado más de lo que merezco.
- Mi familia**                    Por su infinito apoyo sin ningún condicionamiento, porque detrás de un gran hombre, existe una gran familia.
- Mi asesor**                    Por ayudarme a graduarme, por sus valiosos consejos que me ayudaron a alcanzar esta meta.
- Mis amigos**                    Porque un hombre solitario, no puede existir, el es un ser social, y todos ellos me han bendecido con su colaboración incondicional y su valiosa amistad.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**                    Quien fue el que me inspiró y me permitió alcanzar esta meta personal, que hoy se alcanza.

**Mi madre**            Que siempre creyó en mí y nunca dudo de mis capacidades, que me brindo su apoyo hasta alcanzar esta meta.

**Mis hermanos**    Que en los momentos más difíciles de mi vida, me animaron a seguir adelante y siempre se han sentido orgullosos de mí, a pesar de mis limitantes.

**Mis amigos**        Que con sus ejemplos me inspiraron a buscar siempre la superación personal.

**Pedro Roure, Dirk Wingenfeld, Proyecto Ijatz, Universidad de San Carlos** y a todas las personas que me ayudaron a alcanzar esta meta personal de mi vida.



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 06 de noviembre de 2009.  
REF.EPS.DOC.1573.11.09.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

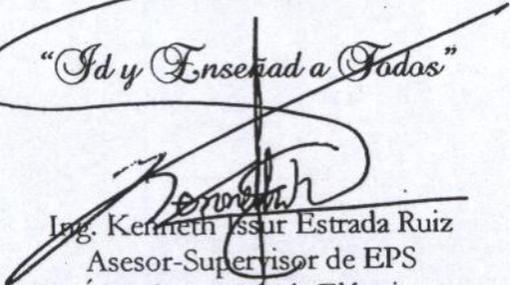
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Carlos Enrique Grijalva Chapot** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **9520811**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE AUTOMATIZACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE MORTEROS SECOS EN CEMENTOS PROGRESO"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

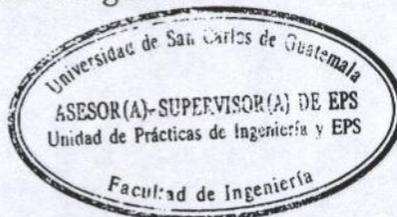
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica

c.c. Archivo  
KIER/ra





UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 06 de noviembre de 2009.  
REF.EPS.D.773.11.09.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Escobedo.

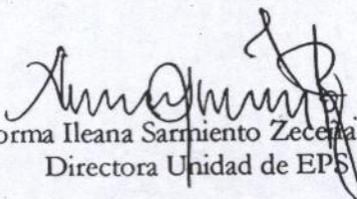
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE AUTOMATIZACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE MORTEROS SECOS EN CEMENTOS PROGRESO"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Carlos Enrique Grijalva Chapot**, quien fue debidamente asesorado por y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

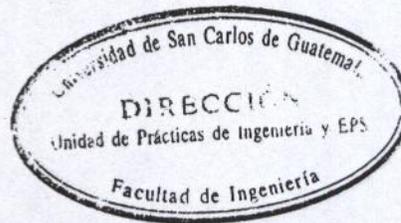
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano  
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





Ref. EIME 18.2010  
Guatemala, 02 de MARZO 2010.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE  
AUTOMATIZACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE MORTEROS  
SECOS EN CEMENTOS PROGRESO”**, del estudiante, Carlos  
Enrique Grijalva Chapot, que cumple con los requisitos establecidos  
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Otto Fernando Andriano González  
Coordinador del Área de Electrotécnica

OFAG/sro



REF. EIME 19. 2010.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Carlos Enrique Grijalva Chapot titulado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE AUTOMATIZACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE MORTEROS SECOS EN CEMENTOS PROGRESO", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

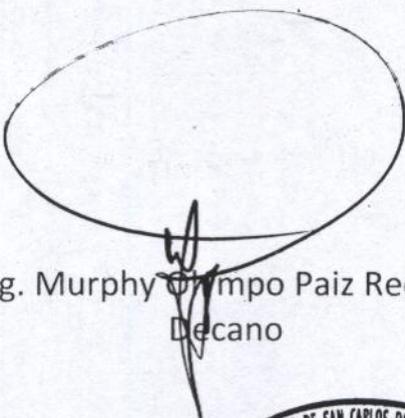


GUATEMALA, 05 DE JULIO 2010.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE AUTOMATIZACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE MORTEROS SECOS EN CEMENTOS PROGRESO**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Enrique Grijalva Chapot**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 4 de noviembre de 2010.



/gdech

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	1
1.1. Antecedentes de la empresa	1
1.1.1. Reseña histórica de la empresa	1
1.1.2. ¿Qué es un mortero seco?	3
1.1.3. ¿Por qué a algunos morteros secos se les denomina monocapa?	4
1.1.4. ¿Cuántos tipos de morteros secos existen?	4
1.1.5. Diagrama de bloques de morteros secos	5
1.1.6. Misión de la empresa	7
1.1.7. Visión de la empresa	8
1.2. Estructura de la empresa	9
2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES ELEMENTALES	11
2.1. Uso eficiente de la energía eléctrica	11
2.2. Identificación de opciones tecnológicas tendientes a aumentar la eficiencia en el uso de la electricidad	11
2.3. Aplicación de conceptos para el uso eficiente de la electricidad en el proyecto de morteros secos	12

2.4.	Transformador	16
2.4.1.	Concepto básico	16
2.4.2.	Ley de voltaje de transformadores	16
2.4.3.	Ley de corrientes de transformadores	16
2.4.4.	Potencia de un transformador	17
2.4.5.	Aplicación de conceptos para seleccionar el transformador de morteros secos, planta la pedrera	17
2.5.	Subestación eléctrica	18
2.5.1.	Concepto básico	18
2.5.2.	Tipos de subestaciones	18
2.5.3.	Tipos de protecciones del transformador	19
2.5.4.	Aplicación de conceptos para la conexión del transformador, en la subestación eléctrica de morteros secos de la planta la pedrera	20
2.6.	Tablero de distribución	24
2.6.1.	Concepto básico	24
2.6.2.	Colocación	24
2.6.3.	Instalaciones	24
2.6.4.	Número mínimo de tableros de distribución	24
2.6.5.	Tipos	25
2.6.6.	Esquema de conexión	25
2.6.7.	Aplicación de conceptos para los tableros de distribución del área de morteros secos	25
2.7.	Protocolo de Comunicación Industrial	32
2.7.1.	Definición de protocolo de comunicación industrial	32
2.7.2.	Tipos de protocolo de comunicación industrial	32
2.7.3.	Definición del protocolo de comunicación Profibus DP	34

2.7.4.	Aplicación de conceptos para el cableado del protocolo de comunicación	35
2.8.	Fuente de emergencia ( <i>Uninterruptible Power Source</i> –fuente de alimentación ininterrumpida)	37
2.8.1.	Tipos de UPS	37
2.8.2.	Parámetros de selección de un UPS	38
2.8.3.	Aplicación de conceptos para la selección del UPS del proyecto de morteros secos	41
2.9.	Arranque de motores de inducción	42
2.9.1.	Tipos de arranque para motores de inducción	42
2.9.2.	Tipos de conexiones eléctricas para motores de inducción	46
2.9.3.	Aplicación de conceptos para el montaje de motores del proyecto de morteros secos	47
2.10.	Sistema de puesta a tierra	48
2.10.1.	Aterrizamiento del sistema para la protección de las personas	49
2.10.2.	Tierra de equipos	49
2.10.3.	Tipos de configuraciones de puestas a tierras	49
2.10.4.	Aplicación de conceptos para el aterrizamiento del proyecto de morteros secos	53
2.11.	Limitamp	55
2.11.1.	Aplicación de conceptos para la selección de un limitamp	57
2.12.	Rele de protección para transformador (Multiline 745)	60
2.12.1.	Tipos de protección y control	61
2.12.2.	Aplicación de conceptos para la programación de un multilin	64
2.13.	Banco de capacitores	65

2.13.1.	Definición de un banco de capacitores	65
2.13.2.	Cálculo de un banco de capacitores	65
2.13.3.	Aplicación de conceptos para la selección de un banco de capacitores para el proyecto de morteros secos	66
2.14.	Controlador lógico programable	67
2.14.1.	Definición de un controlador lógico programable	67
2.14.2.	Estructura del controlador programable	68
2.14.3.	Aplicación de conceptos para la selección del controlador lógico programable	68
2.15.	Iluminación	69
2.15.1.	Conceptos básicos	69
2.15.2.	Leyes de la iluminación	70
2.15.3.	Alumbrado de exteriores	70
2.15.4.	Factores de clasificación de luminarias exteriores	71
2.15.5.	Método de diseño de iluminación exterior	71
2.15.6.	Alumbrado de interiores	71
2.15.7.	Método de diseño de alumbrado de interiores	72
2.15.8.	Aplicación de los conceptos anteriores para morteros secos	73
2.16.	Cálculo de líneas de instalaciones eléctricas	74
2.16.1.	Líneas monofásicas de corriente alterna	75
2.16.2.	Líneas trifásicas	75
2.17.	Dispositivos de protección en bajo voltaje	76
2.17.1.	Fusibles	76
2.17.2.	Corta circuitos	78
2.17.3.	Coordinación de la protección	78
2.18.	Sensores o transmisores eléctricos	79
2.18.1.	Transmisores neumáticos	80

2.18.2.	Transmisores electrónicos	80
2.18.3.	Transmisores digitales	80
2.18.4.	Transmisores inteligentes	81
2.18.5.	Tipos de transmisores	81
2.18.5.1.	Transmisor capacitivo	81
2.18.5.2.	Transmisor inductivo	82
2.18.5.3.	Transmisor infrarrojo	83
2.18.5.4.	Encoder	84
2.18.6.	Aplicación de conceptos para los sensores de morteros secos	85
3.	PLAN DE SEGURIDAD DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL EN MORTEROS SECOS	87
3.1.	Propuesta de un plan de seguridad e higiene industrial en morteros secos	87
3.2.	Políticas de seguridad e higiene industrial	87
3.3.	Normas de seguridad e higiene industrial	87
3.4.	Aspectos de seguridad industrial	88
3.4.1.	Plan de minimización de las condiciones inseguras	88
3.4.2.	Plan de minimización de actos inseguros	88
3.4.3.	Señalización	88
3.4.4.	Seguridad vial	89
3.4.5.	Equipo contra incendios	89
3.4.6.	Equipo de protección personal	90
3.4.7.	Botiquín	91
3.4.8.	Higiene industrial	91
3.4.9.	Ruido	91
3.4.10.	Polvo	93
3.4.11.	Orden y limpieza	93

CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	101

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Diagrama de bloques	5
2	Organigrama de puestos	9
3	Fotos termográficas de iluminación	12
4	Gráfica de watts por lámpara	13
5	Diagrama de conexión de un Multilin 745	21
6	Foto de un tablero de distribución principal	28
7	Foto de tablero de Ventomatic	29
8	Foto de tablero de Mtec	30
9	Diagrama unifilar de una red Profibus	34
10	Hoja de Run time para un UPS	39
11	Foto de UPS	40
12	Diagrama de potencia de arranque a plena carga	41
13	Diagrama de arranque con auto transformador	42
14	Diagrama de arranque con resistencias	43
15	Arranque estrella delta	44
16	Conexión de un megger, para la medición de tierras	51
17	Foto de valores de resistividad del terreno	52
18	Foto de valores de resistividad del terreno	53
19	Foto de un limitamp	59
20	Triángulo de potencia	64
21	Foto del controlador inteligente de potencia reactiva	65
22	Diagrama de conexión del controlador inteligente	66
23	Fotos de tipos de lámparas	73

24	Diagrama de bloques de un transmisor inductivo	82
25	Foto de un encoder	84

## TABLAS

I	Distribución de carga	17
II	Precios de equipos eléctricos	20
III	Lista de relevadores	22
IV	Tablero de distribución principal de morteros secos	25
V	Tablero de distribución del área de Mtec	25
VI	Tablero de distribución principal de Ventomatic	26
VII	Interruptores termomagnéticos	27
VIII	Datos de un UPS	38
IX	Selección de un UPS	40
X	Comparación de tipos de arranque	46
XI	Capacidad de corriente de cortocircuito de un limitamp	55
XII	Corriente de cortocircuito y tiempo de fusión	58
XIII	Tipos de ajuste a los relevadores	63
XIV	Corrección de materiales atenuadores	82
XV	Nivel de ruido más comunes	91

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
H	Altura
d o h	Altura de montaje de la lámpara
W	Ancho
$\varepsilon'$ y $\alpha$	Ángulo de incidencia
PLC	Controlador lógico programable
I	Corriente
$I_p$	Corriente primaria del transformador
$I_s$	Corriente secundaria del transformador
$\eta$ y $\eta'$	Densidad óptica del medio
$\phi$	Diámetro
E	Iluminación en un punto dado
Z	Impedancia de una línea eléctrica
I	Intensidad luminosa
$\mu$	La letra griega Mu es la pendiente de la curva de resistividad del terreno
HID	Lámpara de alta intensidad de descarga
L	Largo o longitud de una línea
KWH	Medida de la energía en KWH
mA	Miliamperios
mV	Milivolts
Sout	Potencia aparente de salida del transformador
KVA	Potencia aparente en KVA
Qout	Potencia reactiva de salida del transformador
Pout	Potencia real de salida del transformador

KW	Potencia real en KW
a	relación del número de vueltas de un transformador
a y b	Son los diámetros de un cono truncado
Trafo	Transformador eléctrico
UPS	<i>Uninterruptible power systems</i>
V	Voltaje o volumen
Vp	Voltaje primario del transformador
Vs	Voltaje secundario del transformador

## GLOSARIO

<b>Breaker</b>	Dispositivo eléctrico que protege a las líneas de alimentación contra cortocircuito y contra sobrecarga.
<b>Capacitor</b>	Dispositivo que almacena energía eléctrica en forma de campo eléctrico.
<b><i>Control Room</i></b>	Cuarto de control.
<b>Corriente</b>	Magnitud física que expresa la cantidad de electrones que fluyen por un conductor en la unidad de tiempo. Su unidad de medida es el Amperio.
<b>Factor de potencia</b>	Es la relación que existe entre la potencia real y la potencia aparente.
<b>Motor eléctrico</b>	Es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica para realizar un trabajo.
<b>Multilin</b>	Los relés Multilin de GE, son soluciones multifunción, basadas en microprocesador que ofrecen protección, control, monitorización y medidas económicas en una sola unidad. Los equipos incluyen interfaz de usuario local y remota, con protocolo de comunicaciones ModBus RTU. Los equipos Multilin están disponibles para aplicaciones de motor, generador, transformador y alimentadores. La familia de relés Multilin

incluye los siguientes equipos: Protección de Generador 489, Protección de Transformador 745, Protección de Alimentador 735/737, Protección de Alimentador 750/760, Protección de Motor 469 y el nuevo Controlador de Posición F650.

**Potencia aparente** Es la suma vectorial de la energía que disipa un circuito eléctrico en cierto tiempo en forma de calor de trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes que fluctuarán entre estos componentes y la fuente de energía. Esta potencia no es realmente la útil, y señala que la red de alimentación de un circuito no solo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la VAR que almacenan las bobinas y los condensadores. Se le designa con la letra S y se mide en voltiamperios.

**Potencia eléctrica** Cantidad de energía producida o consumida por unidad de tiempo.

**Potencia reactiva** La potencia reactiva tiene un valor de medio nulo, por lo que no produce trabajo útil. Por ello se dice que es una potencia desvatada (no produce vatios) y se encarga de la formación de campos eléctricos y magnéticos.

**Potencia real** Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo.

**Profibus**

Es un estándar de comunicaciones para bus de campo. Deriva de las palabras *Process Field BUS*. Desde el punto de vista del control de las comunicaciones, el protocolo Profibus es un conjunto maestro esclavo, pero permite aplicaciones monomaestro. Un sólo maestro está activo en el bus, usualmente un PLC, los demás dispositivos son esclavos. Este esquema es el que permite los ciclos de lectura más cortos. Existen aplicaciones multimaestro. Permite más de un maestro. Pueden ser aplicaciones de sistemas independientes, en que cada maestro tenga sus propios esclavos u otro tipo de configuraciones con dispositivos de diagnóstico.

**Relevador**

Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de la entrada, puede considerarse como un amplificador eléctrico. A los relevadores también son conocidos como reles.

**Resistencia**

Es la oposición al flujo de carga eléctrica en un medio conductor, su unidad de medida es el ohm.

**Resistividad**

Es el grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos. Se designa por la letra griega  $\rho$  y se mide en ohms por milímetro cuadrado partido metro. Su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo bueno o mal conductor que

es el material. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor, mientras que uno bajo indica que el material es buen conductor. ( $\rho = \frac{R * A}{l}$ )

**Transformador**

Máquina eléctrica estática que permite aumentar o disminuir el voltaje en un circuito de corriente alterna, manteniendo la frecuencia.

**Voltaje**

Magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito cerrado. La diferencia de potencial también se define como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico, sobre una partícula cargada, para moverla de un lugar a otro.

## RESUMEN

El mundo moderno, exige que la energía eléctrica sea administrada cada vez de forma más eficiente, porque sus costos de producción son muy elevados, debido a que los recursos que se necesitan para producirlos se están agotando y la demanda que el mundo tiene por la energía eléctrica es muy elevada, esto le exige a los profesionales de la electricidad tener muy presente este concepto en el desarrollo de sus proyectos, a fin de que los mismo tengan justificación económica y sean viables en su ejecución.

Para encontrar oportunidades de ahorro energético se deben considerar varios puntos, en la presente tesis se aborda el tema de la calidad de energía, la corrección del factor de potencia, el desbalance de fases y como los variadores de frecuencia, afectan el uso eficiente de la energía en la industria, por la generación de armónicos, los que modifican el factor de potencia de una instalación eléctrica, incrementando las pérdidas por el efecto joule en cables y tableros eléctricos. El uso eficiente de la energía no siempre esta relacionada con el uso de componentes eléctricos eficientes, si no que el mayor ahorro de energía se consigue cuando se hace una buena administración en el uso de la misma.

Este trabajo de tesis también aborda el tema de los motores de alta eficiencia, el uso de lámparas que cumple con la relación de vatios por metro cuadrado, según lo establecido por el *Nacional Electric Code* (NEC). Estos conceptos muestran el ahorro energético obtenido en una planta de morteros secos.

Las lámparas de alta intensidad de descarga (HID), son las más utilizadas en la iluminación de bodegas porque cumple con la relación  $\frac{VA}{m^2}$  y su eficiencia es la mejor comparado con otro tipo de lámparas.

También se presentan las bondades y prestaciones del *multiline* y del *limitamp* para la protección de un transformador de potencia. Estos equipos eléctricos necesitan poco mantenimiento y son económicamente rentables para la protección de transformadores mayores a 500 KVA, los transformadores con una capacidad menor a 500 KVA utilizan el fusible de potencia para su protección, porque es lo económicamente rentable para su protección.

Por último se abordará el tema de la seguridad industrial, las políticas de seguridad e higiene industrial, las normas y los aspectos de seguridad industrial en el desarrollo de un proyecto, para evitar incurrir en problemas, evitar accidentes y pérdidas materiales, económicas y de vidas en el desarrollo de un proyecto. El atraso de un proyecto puede ocasionar enormes pérdidas económicas a una empresa. Las normas dan las directrices de cómo ejecutar un proyecto y evitar los problemas anteriormente mencionados.

## OBJETIVOS

### General

La siguiente proposición busca abordar el tema del ahorro energético, las protecciones eléctricas y el desarrollo de un plan de seguridad con énfasis en el uso de equipos de alta eficiencia y la administración energética como herramientas para optimizar el uso de la energía eléctrica, también se hace énfasis en la selección de equipos de protección que garanticen la funcionalidad de diferentes equipos eléctricos, que fueron instalados en una planta de morteros secos.

### Específicos

1. Este trabajo de tesis busca abordar el tema del ahorro energético y el uso de los motores ahorradores de energía, las lámparas de alta intensidad de descarga, la corrección del factor de potencia mediante el uso de un banco de capacitores o el uso de un filtro que solucione el problema antes mencionado. Con estos conceptos se incrementará el ahorro energético de una planta de morteros secos.
2. En el presente trabajo se busca demostrar la justificación del uso de los equipos *Limitamp* y *Multiline* de *General Electric*, para la protección de transformadores de potencia que exceden la capacidad de 500 KVA y el uso de fusibles de potencia para transformadores cuya capacidad es inferior a 500 KVA.
3. Se demostrará que el mejor ahorro energético se obtiene cuando se tiene una buena administración energética y la eficiencia de los equipos eléctricos contribuyen al

ahorro energético, pero el punto clave para el ahorro es la administración energética para una planta de morteros secos.

4. Por último se busca justificar las razones, para la implementación de un plan de seguridad e higiene industrial en el desarrollo de una planta de morteros secos.

## INTRODUCCIÓN

Se vive en una era de grandes cambios tecnológicos, la industria guatemalteca no está exenta de dichos cambios, día tras día la fusión de la electricidad con la electrónica se hace cada vez más evidentes en todas las áreas de la electricidad. Por ejemplo, hace varios años se protegía un transformador con fusibles de potencia, transformadores de corriente, de potencia y relevadores. Actualmente se hace la misma protección por medio de un procesador inteligente que utiliza señales de corriente y de voltaje que en sincronía con un *breaker* motorizado o un contactor de potencia, protege el mismo transformador de la mayor cantidad de fallas eléctricas posibles; reduciendo costos en el renglón de mantenimiento eléctrico, reduciendo el tiempo muerto de los equipos ya sea, por fallas eléctricas e incrementando el factor de disponibilidad de los mismos.

Con este ejercicio de práctica supervisada se pretende dar a conocer generalidades de equipos de vanguardia tecnológica que pueden ayudar a la industria guatemalteca a mejorar sus tiempos de paro y la calidad de la producción; utilizando como herramientas de control, el controlador lógico programable, protección de motores por medio de reles inteligentes, la utilización de un Multilin para la protección de equipos críticos, como el transformador, el motor sincrónico, los alimentadores, etc.

El desarrollo del proyecto se divide en cinco partes que son: área de preparación de arena, área de mezclado de arena, despacho de cemento por pipas de camión, ensacadora y bodegas de producto terminado. El control de toda el área de producción se realiza por medio de una red profibus, los resultados son visualizados en un control room o por medio de interfaces hombre-máquina, colocados en diferentes lugares de la planta de producción.

Uno de los inconvenientes para el desarrollo de este proyecto es el lenguaje, ya que los equipos adquiridos son de procedencia Europea, y los técnicos encargados de poner en funcionamiento los equipos son alemanes que hablan muy poco español.

El segundo inconveniente, es el poco personal profesional de ingeniería que se dedique a la programación de Multilin y la programación de PLC marca Allen Bradley.

# **1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA**

## **1.1 Antecedentes de la empresa**

A continuación se presentan los antecedentes históricos de M-tec.

### **1.1.1 Reseña histórica de M-tec**

M-tec es una compañía multinacional, especializada en el campo de la tecnología del mortero seco.

En m-tec se suministran plantas productoras de morteros secos, así como las máquinas y los sistemas de logística, para su aplicación y su procesamiento. El conocimiento de m-tec cubre áreas como el examen de los materiales crudos para los clientes y el desarrollo de formulaciones para morteros secos. Otros aspectos que se incluyen son el entrenamiento del cliente para operar una planta de producción de morteros secos, los funcionamientos de laboratorio e incluso el control de calidad, para la comercialización y la venta de sus productos de morteros secos.

M-tec es una compañía del Grupo Maxit, con oficinas centrales en Neuenburg, Alemania. Maxit es una subsidiaria de SANTO-GOBAIN, uno de los grupos industriales más grandes en el mundo y líder en la producción de vasos y productos para la construcción.

El equipo comercial de sitios de construcción y logística (TFS) proporciona la logística para el transporte (de los silos móviles y de vehículos con silos de transporte) y llevando los sistemas (neumático) de morteros secos a los sitios varios de construcción,

así como las máquinas para el proceso y la aplicación de morteros secos. Además de los sistemas de la logística anteriormente mencionados, este equipo incluye también máquinas enyezadoras, mezcladoras continuas, bombas de mortero, sistemas neumáticos de transporte, sistemas de silos tipo pequeño y plantas de shotcrete. Además del "hardware abastecedor y software", M-tec apoya a sus clientes en el desarrollo de estrategias de mercado para el mercadeo exitoso de sus morteros secos.

El equipo de mezclado y construcción de plantas (MTA). El sector comercial diseña y fabrica el equipo para la producción de mortero seco. Además se fabrica el equipo de preparación de arena, m-tec proporciona el dosificador, el equipo de pesaje y de mezclado, así como las plantas de condensando y de carga para el embarque personalizado de productos de morteros. También vale la pena decir que M-tec proporciona el mando completo y la vigilancia necesaria para el funcionamiento eficaz de una planta productora de morteros secos.

Además, el Centro de Tecnología (TC) por medio de los servicios de control de calidad. Aparte de analizar los materiales crudos y de dar consejos en cómo seleccionar los materiales crudos apropiados a los clientes, también ofrece un plan de entrenamiento de productos en el laboratorio de nuestra compañía o en el sitio de los clientes. Tal entrenamiento incluye una introducción a establecer un sistema de control de calidad y consejos acerca del equipo de laboratorio requerido que también puede obtenerse en el TC.

Es más, la empresa interesada puede consultar el TC con respecto a la formulación de morteros secos para el proceso óptimo de las máquinas.

### **1.1.2 ¿Qué es un mortero seco?**

El mortero seco es un producto fabricado industrialmente que se compone de cemento, arena y aditivos dosificados, que sólo requieren la adición del agua necesaria para su correcto amasado y el desarrollo de todas sus propiedades en el lugar de trabajo.

Las materias primas, tras ser sometidas al correspondiente control de calidad, son depositadas en los silos, quedando a la espera de su empleo posterior en el proceso de fabricación.

Cuando se recibe un pedido, dependiendo del producto a suministrar, el autómeta transmite una orden con las cantidades a dosificar de cada uno de los componentes que lo integran.

Las distintas materias primas, pesadas en las diferentes básculas de forma secuencial, son introducidas en una mezcladora donde durante un intervalo de tiempo determinado y específico para cada tipo de mortero, se homogenizan hasta obtener el producto terminado, el mortero seco.

Desde la salida de la mezcladora, el mortero seco puede sufrir dos procesos, dependiendo de cual vaya a ser su forma de presentación final:

- Despacho a granel: es almacenado en silos de producto terminado o vertido directamente a camiones para su distribución a las obras. En el caso del despacho a granel, la empresa tiene camiones de despacho a granel, estos camiones tiene una capacidad máxima de 22 toneladas, pero no siempre se despachan totalmente llenas. El despacho mínimo que se hace es de 11 toneladas.
- Despacho por ensacado: es almacenado en silos para proceder a su posterior ensacado mediante ensacadoras automatizadas. En el despacho por sacos, no hay venta directa al

público, sino que siempre se hace a través de los distribuidores, quienes normalmente compran por la capacidad de cada plataforma. Las bolsas de cemento son de 42.5 kg., y las de cal son de 20 y 22 kg.

Con este sistema de fabricación y combinando las distintas materias primas existentes, es factible fabricar cualquier tipo de mortero que el mercado demande. Todo ello sin perder la perspectiva de garantizar una adecuada regularidad y calidad de los productos suministrados.

### **1.1.3 ¿Por qué a algunos morteros se les denomina monocapa?**

Porque en el sistema tradicional de revoques exteriores, deben realizarse tres capas para tener la pared terminada y protegida contra la humedad, ellas son: capa aisladora con hidrófuga, revoque grueso y revoque fino. Con el uso del mortero seco, solo debe aplicarse una capa del espesor especificado y listo, ya que estos materiales vienen modificados de tal manera que en una sola capa logran aislación con hidrófuga, grueso y terminación fina, TODO EN UN SOLO PASO. Se les suele llamar 3:1 para uso en exteriores y si es para interiores 2:1 (grueso y fino a la vez).

### **1.1.4 ¿Cuántos tipos de morteros secos existen?**

**Mortero universal:** sirve para pegar ladrillos, levantar paredes de huecos, comunes, bloques de hormigón etc. Tareas de albañilería en general: carpetas de nivelación refacciones etc.

**Monocapa interior:** sirve para revoques interiores, de terminación gruesa y fina en un solo paso, denominada MONOCAPA INTERIOR 2:1

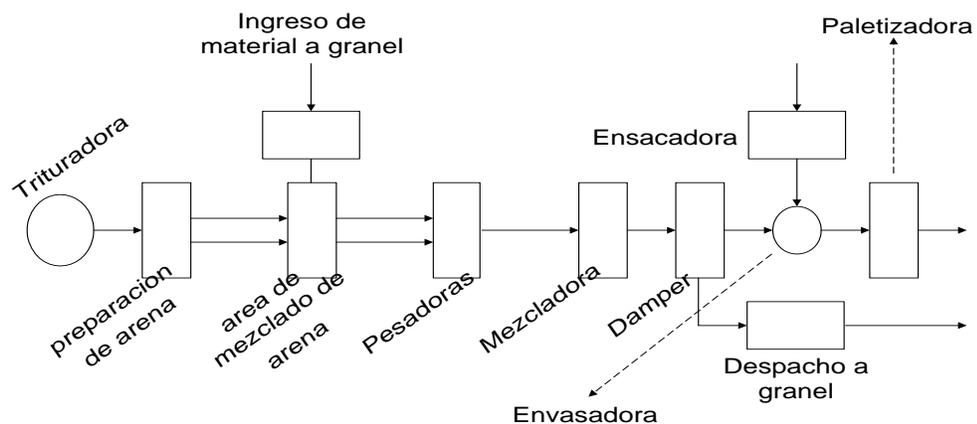
**Monocapa impermeable:** sirve para revoques exteriores, se usa la cal o el cemento con agentes hidrofugantes incorporados, capa aisladora, gruesa o fina, en un solo paso, también se le denomina MONOCAPA EXTERIOR 3: 1

**Yeso ultra proyectable:** sirve para yeso de alta modificación química que otorga 45 minutos de tiempo de trabajabilidad y más del doble de resistencia mecánica que un tradicional, permite realizar el engrose y acabado en un solo paso, se le puede aplicar directamente sobre el ladrillo o como enlucido sobre un revoque grueso peinado. Viene en dos versiones MANUAL Y PROYECTABLE.

**Carpeta autonivelante ultra:** carpeta con tendencia a la auto nivelación y fragüe acelerado, se aplica en forma manual preparando el producto en trompo u hormigonera o bien la versión PROYECTABLE. Es ideal para terminaciones rápidas, ya que permite colocar cerámicos, 48 horas después de haberla colocado. Es transitable a las 8 horas de haber terminado el trabajo y puede quedar como terminación final.

### 1.1.5 Diagrama de bloques de morteros secos

Figura 1. Diagrama de bloques



Fuente: M-TEC, diagrama de flujo de una planta de morteros secos

En el proyecto de morteros secos se tiene 2 entradas, las cuales son: sand preparation (Preparación de arena) y ready mixer plant (planta de preparado de la mezcla).

En sand preparation se ingresa piedra caliza, la que es triturada por una chancadora, y luego transportada por bandas de transporte, gusanos y elevadores verticales hasta las cribas, a través de las cuales se hace la separación de los diferentes tipos de grosor de arena, la misma es llevada hasta los silos de almacenamiento, estos se localizan en el área de ready mixer plant.

En los silos se almacena material que será mezclado, por la mezcladora de ready mixer plant, y cuyo tiempo de mezclado es programada de acuerdo a una receta, la receta es programada por los supervisores de turno desde el control room, de acuerdo a la producción que se necesita.

En ready mixer plant, se agrega material a granel, a los silos de almacenamiento, el material es transportado desde el camión hasta el silo, por medio de un sistema neumático, el nivel de cada silo es controlado por sensores inductivos variables, que mandan señales de apagado al sistema neumático de llenado de los silos, dependiendo del nivel de llenado del silo.

La receta controla el porcentaje de material que se debe agregar a las pesadoras, a fin de obtener el mortero que se necesita, las balanzas pesan el total de toneladas de producto, que se ha trabajado, luego de pesar el material, se deja caer por gravedad hasta la mezcladora, el tiempo de mezclado es controlado también por la receta.

El dámper que separa el circuito de llenado a granel o de llenado por sacos, trabaja normalmente para el llenado de sacos, si el operario quiere trabajar el llenado a granel lo programa desde el control room.

En el área de ventomatic el material que sale de la mezcladora se deposita en un silo, si el silo está lleno el sensor manda una señal al control room, a fin de que ya no manden más material al silo. El material del silo cae a la ensacadora y llena 8 sacos por vuelta, la ensacadora alimenta los sacos a la llenadora de sacos, estas dos máquinas trabajan en sincronía, por medio de dispositivos electrónicos que son controlados por un PLC, de la ensacadora los sacos son transportados por medio de bandas de rodillos a la paletizadora, que es la encargada de formar las filas de sacos que se almacenar en la bodega, para su posterior envío a toda la república por medio de camiones o tráileres.

Todos los Plcs de la planta tienen comunicación con el control room, por medio de una red Profibus.

#### **1.1.6 Misión de la empresa**

En M tec somos sinónimo de desarrollo, producción de productos y soluciones innovadoras en el campo de la fabricación, la logística y el procesamiento de materiales de construcción modernos. M tec ha hecho que la construcción sea mejor, más rápida y económica en todo el mundo.

Nuestro programa de prestaciones se divide en tres campos que son: “SE” o técnicas de obras, “PE” o técnicas de instalaciones y por último el Centro de Tecnología. En M tec el cliente obtiene “TODO DE UNA FUENTE”.

Nosotros podemos asesorar y equipar de forma competente a nuestros clientes comenzando por el análisis de materias primas, pasando por la planificación y construcción de las instalaciones de mortero seco, hasta el desarrollo y la fabricación de las máquinas de procesamiento adecuadas para la obra.

El centro tecnológico de m tec ofrece a sus clientes la posibilidad de asesorarse en todo momento sobre como adaptar las distintas recetas de mortero seco a un proceso mecanizado optimizado.

El ámbito de negocio técnicas de instalaciones (PE) desarrolla y crea la técnica de producción completa que se necesita para la fabricación industrial del mortero seco. M tec también suministra la técnica completa de dosificación, pesaje y mezcla, soluciones para el tratamiento de áridos, el embalaje y la carga de productos de mortero seco. Esto comprende también la correspondencia técnica de control y mando y numerosos servicios para garantizar en todo momento una producción sin fallos.

El área de negocio, técnicas de obras (SE), suministra sitios móviles y sistemas de transporte e instalación de silos para el suministro racional del mortero seco en la obra, sistemas de transporte neumático y máquinas para el procesamiento y la aplicación rápida y precisa de los morteros secos. M tec también ofrece para la técnica de obras, servicios especiales que garantizan al cliente un alto grado de flexibilidad y productividad de sus máquinas.

M-tec es una empresa innovadora y de rápido crecimiento. En un sano equilibrio de exigencia y promoción m-tec crece gracias a sus empleados positivamente motivados. Valores esenciales como integridad, solidaridad y respecto a los demás sirven como base para la colaboración y constituyen los principios de conducta para todos los empleados de m-tec.

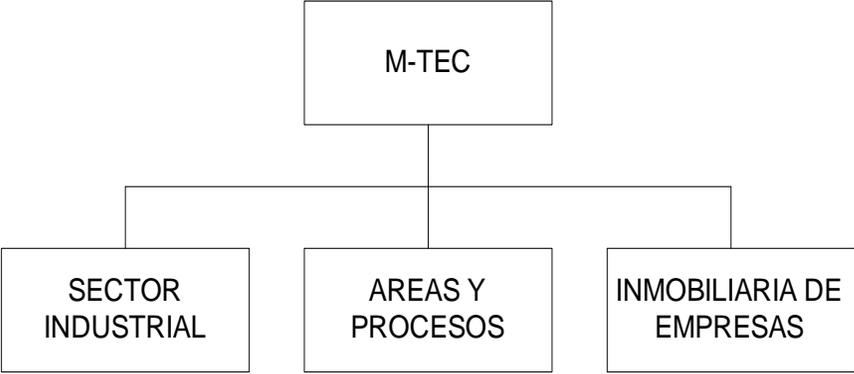
### **1.1.7 Visión de la empresa**

Mtec desea ser una empresa inconfundible en el mercado de la obra universal. Ser sinónimo de innovación técnica que mejore la construcción, ser líder en tecnología, ser sinónimo de sostenibilidad, calidad total y fiable, presentar soluciones y no problemas, ver con los ojos de nuestros clientes y entender sus mercados, vivir la

orientación hacia el cliente, plantear nuevos retos, esforzándonos por lograr un crecimiento continuo y una alta rentabilidad para nuestros clientes.

**1.2 Estructura de la empresa**

Figura 2. Organigrama de M-tec



Fuente: M-TEC, diagrama organizacional de la empresa



## **2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES ELEMENTALES**

### **2.1 Uso eficiente de la energía eléctrica**

El uso eficiente de la energía consiste en: (1) satisfacer los requerimientos energéticos de la sociedad al menor costo económico y energético posible. (2) Energizar actividades de alta productividad o que requieren de energía para realizarse. (3) Sustituir fuentes energéticas en función de sus costos sociales relativos. Y (4) conseguir políticas de largo aliento en oposición a programas de emergencia y coyunturales. La eficiencia energética solo tiene sentido en la medida que permite reducir los costos globales de producción. Ello implica considerar, no solo el costo total de los equipos nuevos, sino que además los costos diferenciales de operación y mantenimiento de los equipos eficientes respecto de los estándares, las diferencias de productividad entre ambas opciones, etc.

En términos generales puede afirmarse que en la mayoría de las instalaciones eléctricas se derrocha un orden del 10% o más de la electricidad que se adquiere a la empresa eléctrica, debido a una selección y operación inadecuada de los equipos y sistemas de distribución de la electricidad.

### **2.2 Identificación de opciones tecnológicas tendientes a aumentar la eficiencia en el uso de la electricidad**

A continuación se detallan las áreas más importantes que deben considerarse a la hora de realizar una auditoria energética, y estas son: (1) Fuerza motriz. (2) Iluminación. (3) Refrigeración. (4) Climatización. (5) Procesos térmicos. (6) Distribución interna. (7) Electrólisis. (8) Otros.

### 2.3 Aplicación de conceptos para el uso eficiente de la electricidad en el proyecto de morteros secos

Los puntos que se evaluaron para obtener ahorro energético, dentro del proyecto de morteros secos fueron: (1) Motores eléctricos. (2) Iluminación interior y exterior. Y (3) Dimensionamiento del cableado.

Para la evaluación energética de motores se utilizó la siguiente fórmula.

$$KW_{ahorrados} = HP * 0.746 * \left( \frac{1}{E_{standard}} - \frac{1}{H_{eficiencia}} \right)$$

DONDE:

HP = CABALLOS DE POTENCIA,

$E_{standard}$  = EFICIENCIA STANDARD,

$H_{eficiencia}$  = ALTA EFICIENCIA

$$Ahorro_{anual} = KW_{ahorrados} * Hrs_{año} * \left( \frac{Q}{KWh} \right)$$

DONDE:

$Hrs_{año}$  = ES EL NÚMERO DE HORAS POR AÑO QUE OPERA EL MOTOR

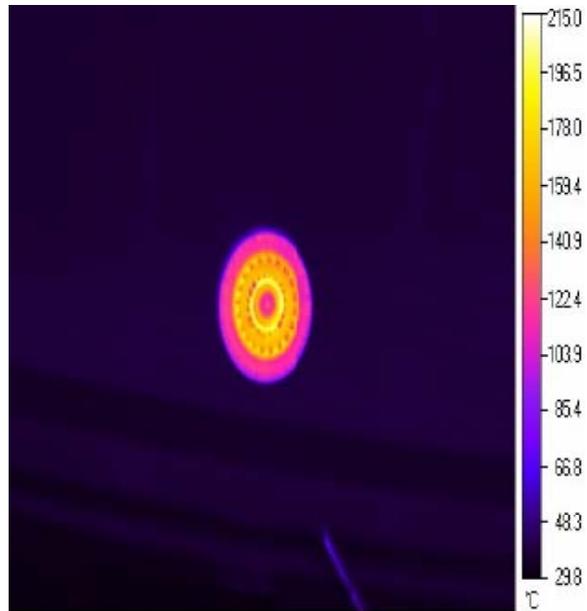
$\frac{Q}{KWh}$  = ES EL COSTO DEL KWh.

De donde se concluye que un motor de alta eficiencia es mucho más rentable, que un motor de eficiencia Standard. Los ahorros económicos que se obtienen por año para un buen número de motores son bastante notables. En el proyecto de morteros secos se utilizaron de este tipo de motores.

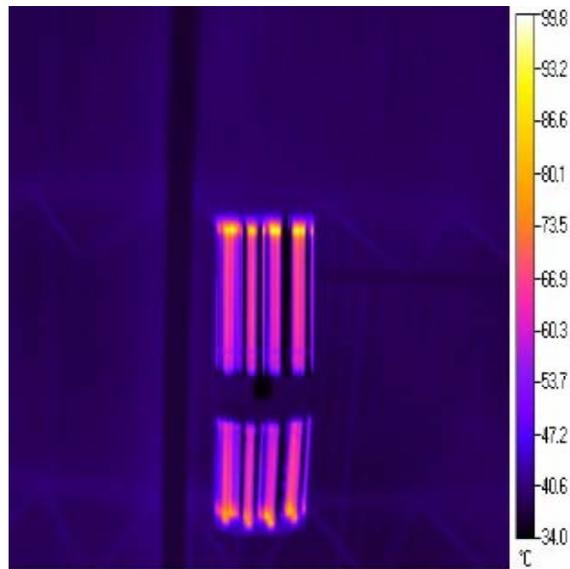
Para obtener ahorro de energía en el sistema de iluminación se realizó lo siguiente: las lámparas exteriores fueron controladas por un timer electrónico, en donde se define el horario de encendido del sistema de iluminación exterior y los días que queremos que no enciendan, como los feriados.

El segundo paso para ahorrar energía, fue utilizar lámparas HID, con prearranque a un voltaje de 208 VAC, lo cual incrementó los lúmenes por lámpara y disminuyó el consumo de corriente.

Figura 3. **Fotos termográficas de iluminación**



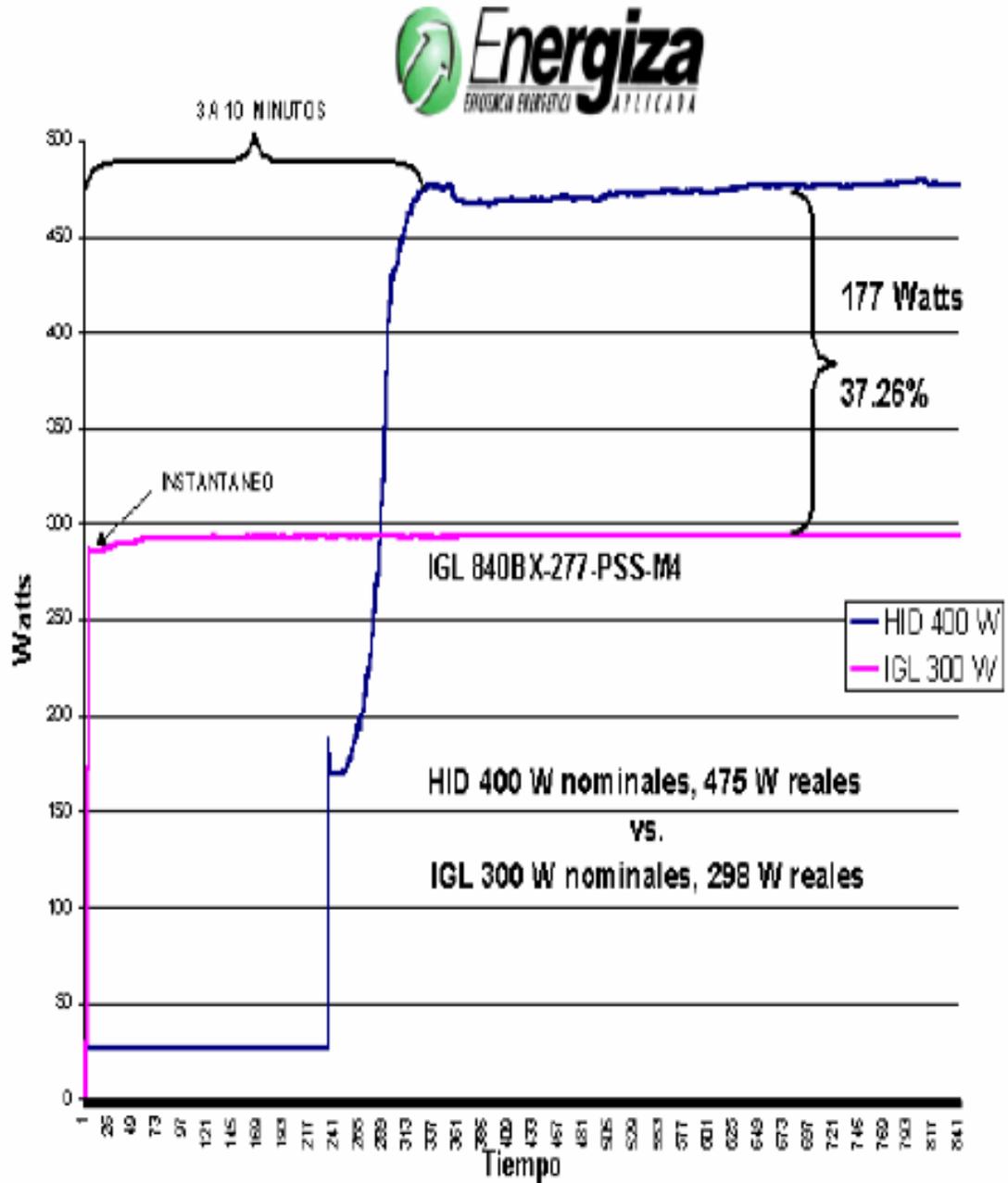
**Lámparas normales**



**Lámparas de alta intensidad de descarga**

Fuente: <http://www.energizaonline.com/es/>

Figura 4. Gráfica de watt por lámpara



Fuente: <http://www.energizaonline.com/es/>

El tercer paso para el ahorro de energía fue la instalación de un banco de capacitores.

## **2.4 Transformador**

A continuación se define qué es un transformador y cuáles son sus propiedades eléctricas

### **2.4.1 Concepto básico**

Es un dispositivo que cambia potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna a otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinados de alambre conductor enrollados alrededor de un núcleo ferromagnético común.

### **2.4.2 Ley de voltajes de transformadores**

El voltaje primario es directamente proporcional al voltaje secundario, en donde “a” es igual a la relación de vueltas de el transformador.

$$V_p = a * V_s$$

### **2.4.3 Ley de corrientes de transformadores**

La corriente del lado primario es directamente proporcional a la corriente del lado secundario, e inversamente proporcional a “a”, en donde “a” es igual a la relación de vueltas del transformador.

$$I_p = \frac{I_s}{a}$$

#### 2.4.4 Potencia de un transformador

Es el producto del voltaje secundario por la corriente del secundario y el coseno del ángulo de desfase que existe entre el voltaje y la corriente alterna.

$$P_s = V_s * I_s * \cos \theta$$

Aplicando la relación de vueltas  $V_s = (1/a) * V_p$  e  $I_s = a * I_p$ ; entonces la potencia de salida es igual a:

$$P_{out} = V_s * I_s * \cos \theta$$

Concluyendo que la potencia de salida es igual a la potencia de entrada para todo transformador.

Obteniendo que la potencia reactiva es igual a:

$$Q_{out} = V_s * I_s * \sin \theta$$

Así mismo obtenemos que la potencia aparente es igual a:

$$S_{out} = \sqrt{(V_s * I_s \cos \theta)^2 + (V_s * I_s * \sin \theta)^2}$$

#### 2.4.5 Aplicación de conceptos para seleccionar el transformador de morteros secos, planta la pedrera

Para determinar la capacidad del transformador, se detalla el estudio de cargas instaladas por área.

Tabla I. **Distribución de carga**

Item	Área	Voltaje	Corriente	Potencia
1	Ventomatic	480	800	665,107.51
2	Mtec	480	1600	1,330,215.02
3	Previstos	480	200	166,276.88
4	Previstos	480	200	166,276.88
5	Crecimiento			
S (VA)				2,327,876.29
S (KVA)				2,328

Fuente: Cisma, diagrama unifilar de la planta de morteros secos

De donde se concluye que la capacidad del transformador es de 2000 KVA, el transformador seleccionado fue un trafo tipo subestación con frente muerto, trifásico, con un voltaje primario de 2400 V y un voltaje secundario de 480/277 V. El tipo de conexión es delta en el primario y estrella aterrizada en el secundario.

## 2.5 Subestación eléctrica

### 2.5.1 Concepto básico

Es un conjunto de dispositivos eléctricos, que forman parte de un sistema eléctrico de potencia, sus funciones principales son: transformar tensiones y derivar circuitos de potencia.

### 2.5.2 Tipos de subestaciones

Las subestaciones se pueden clasificar, de acuerdo con las siguientes características eléctricas y mecánicas:

- Por su estructura: se clasifican en bajo perfil y modulares
- Por su carga: se clasifican en rurales e industriales

- Por su uso principal: se clasifican en transformadoras, de maniobras o ambas
- Por su nivel de voltaje: se clasifican en distribución, sub-transmisión y de transmisión
- Por su aislamiento: se clasifican en aislamiento de aire o SF6

### **2.5.3 Tipos de protecciones del transformador**

Los transformadores solo pueden sufrir corto circuitos, circuitos abiertos, y sobrecalentamiento en los arrollamientos. En la práctica no está previsto el relevador de protección contra circuitos abiertos debido a que estos en sí no son perjudiciales para el transformador. En la práctica general tampoco está previsto la protección contra sobrecalentamiento o sobrecarga; puede haber accesorios térmicos para hacer sonar una alarma o para controlar bancos de ventiladores, por lo general no se practica el disparo automático de los interruptores de los transformadores. Una excepción es cuando el transformador proporciona una carga definida predecible. Puede considerarse la protección de respaldo para fallas externas como una forma de protección de sobrecarga, pero la puesta en marcha de este equipo es por lo general muy elevada para proporcionar una protección eficaz al transformador, excepto en el caso de cortocircuitos prolongados, resta entonces solo la protección contra corto circuitos en los transformadores o en sus conexiones.

En la práctica los fabricantes acostumbran a recomendar protección diferencial de porcentaje para la protección de corto circuitos para todos los transformadores de potencia cuya capacidad trifásica es 1000 KVA y mayores. Consultores de compañías de potencia han demostrado la aprobación de dicha protección para transformadores de 5000 KVA y mayores.

Los transformadores menores a 5000 KVA, se deben proteger con fusibles de potencia, porque son mucho más rentables para la protección del transformador.

#### **2.5.4 Aplicación de conceptos para la conexión del transformador, en la subestación eléctrica de morteros secos de la planta la pedrera**

Toda la carga de la planta la Pedrera, incluyendo la nueva carga de morteros secos es de tipo industrial, concluyendo que su tipo de carga es muy rentable para la EEGSA. Así como para Cementos Progreso, siendo muy importante montar un equipo que sea altamente confiable y versátil, para la protección del trafo y que no permita fallas externas que puedan disparar nuestra protección diferencial.

Por este motivo se eligió la conexión delta, para el lado de alta tensión, ya que las fallas de secuencia cero, no se trasladarán al secundario del trafo, pudiendo provocar daños a nuestros equipos electrónicos.

Para el lado de baja tensión se elige la conexión estrella-aterrizada, para evitar un punto flotante de voltaje. Evitando con ello, que existan fallas por fluctuación de voltaje, en todos los equipos electrónicos.

En el área de morteros secos, la carga total instalada es de 2000 KVA, siendo mucho menor a 5000 KVA. Utilizando este criterio se decide usar fusibles de media tensión para proteger el trafo. Para evitar el incremento en el rubro del mantenimiento eléctrico, se necesita un fusible que no se destruya totalmente cada vez que ocurra un corto circuito, ya que los fusibles de potencia tienen un elevado costo y no son distribuidos comercialmente en Guatemala. Este criterio indica que se debe utilizar un Limitamp, ya que este dispositivo cumple con todas las necesidades propuestas anteriormente. A continuación se presenta una tabla comparativa de precios, que cumple con el criterio anteriormente mencionado.

**Tabla II. Precios de equipos eléctricos**

Tabla de precios

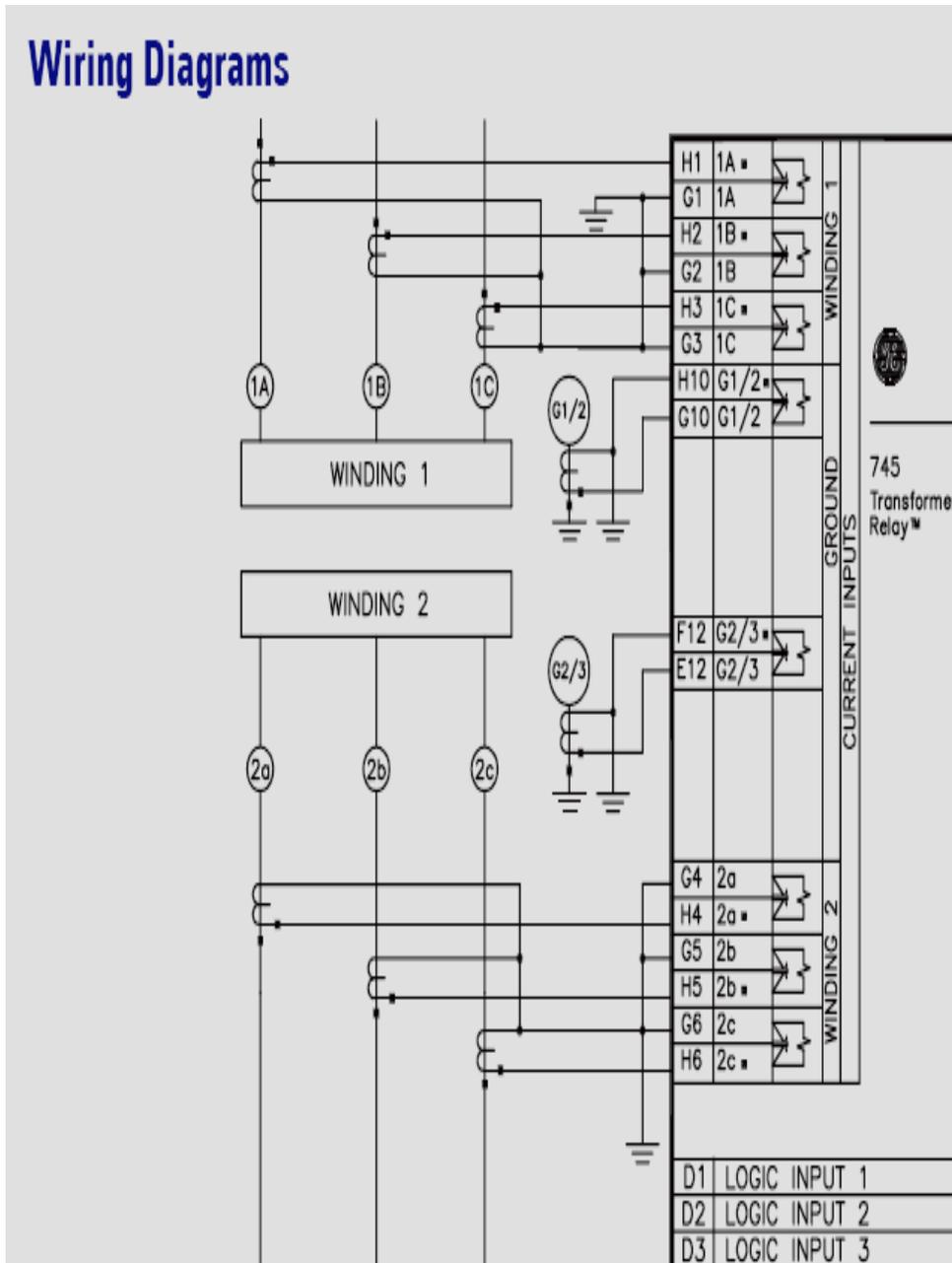
Item	Unidad	Precio
1	Power VAC	\$38,300.00
2	Limitamp	\$21,887.00
3	Transformador de 2000 KVA	\$35,350.00

Nota: Está tabla demuestra que la protección diferencial es rentable solo para trafos mayores a 5000 KVA

Fuente: Cisma

En la siguiente página se presenta el diagrama de conexión eléctrica del Multilin 745:

Figura 5. Diagrama de conexión de un Multilin 745



Fuente: General Electric, 745 Transformador management relay

La corriente de corto circuito será bloqueada rápidamente mediante el accionamiento del multilin 745, y le ordenará al contactor de potencia, abrir dicho

circuito, a un cierto porcentaje de corriente. Para corrientes de corto circuitos demasiados altos, se destruirá el fusible y dicha corriente no dañará el transformador.

El Limitamp provee una elevada confiabilidad de protección, para el transformador del área de morteros secos. A continuación se presenta la lista de relevadores calibrados en el Multilin 745:

Tabla III. **Lista de relevadores**

Item	Nomenclatura	Dispositivo	Test	
			C	NC
1	50/46	S/I Instantánea de secuencia inversa		
2	50/87	Diferencial instantáneo		
3	50G	S/I Instantánea de tierra		
4	50N	S/I Instantánea de neutro (3io)		
5	50P	S/I Temporizada de fases		
6	51/46	S/I Temporizada de secuencia inversa		
7	51G	S/I Temporizada de tierra		
8	51N	S/I Temporizada de neutro (3lo)		
9	51P	S/I Temporizada de fases		
10	59/81	Relación volt/hertz	X	
11	81-115	Nivel de quinto armónico		
12	81°	Máxima frecuencia	X	
13	81U	Mínima frecuencia	X	
14	81U-R	Ratio de disminución de la frecuencia	X	
15	87	Diferencial en porcentaje	X	
16	87TG	Diferencial de tierra		
17	AD	Demanda de intensidad	X	
18	AN1	Entrada analógica de nivel 1		X
19	AN2	Entrada analógica de nivel 2		X
20	THD	Nivel de distorsión del armónico total	X	

C = calibrado

NC = no calibrado

Fuente: *General Electric, 745 Transformador management relay*

## **2.6 Tablero de distribución**

A continuación se describe que es un tablero de distribución y sus propiedades.

### **2.6.1 Concepto básico**

Son las cajas que alojan los elementos de protección de las líneas repartidoras de fuerza e iluminación.

### **2.6.2 Colocación**

Se colocará en un lugar determinado, después de haber llegado a un acuerdo entre el constructor, el propietario o abonado y la empresa distribuidora. Pero debe ser instalado en un lugar de fácil y libre acceso.

### **2.6.3 Instalaciones**

Pueden ser para instalación interior o exterior.

### **2.6.4 Número mínimo de tableros de distribución**

El número mínimo de tableros de distribución se realiza con base en:

- Potencia prevista en cada centralización
- Estructura con base en los suministros eléctricos
- Potencia presente prevista en cada una de las líneas repartidoras
- Sección y trazado de las líneas repartidoras

### **2.6.5 Tipos**

Establecidos por las empresas distribuidoras en sus normas particulares

### **2.6.6 Esquema de conexión**

Los tableros de distribución se dividen en monofásicos y trifásicos, los tipos de conexión eléctrica disponibles son:

- 1 Fase, 3 H, con conector principal
- 1 Fase, 3 H, con interruptor
- 3 Fases, 4 H, con conector principal
- 3 Fases, 4 H, con interruptor principal

### **2.6.7 Aplicación de conceptos para los tableros de Distribución del área de morteros secos**

Si se observa más abajo, las planillas de los tableros y la carga instalada en cada tablero de distribución se obtiene que:

- La potencia aparente es de 1871.52, 1435.2, 434.4 en KVA
- Las corrientes nominales son: 3,899 A, 2,990 A y 905 A
- Las corrientes de corto circuito aproximadas, son de: 46.79, 35.88 y 10.86 en KA

Al analizar estos datos se concluye que se necesitan 3 tableros tipo industrial y, que deben ser instalados en cuartos eléctricos, para prevenir accidentes, todos los tableros serán de TIPO INTERIOR, con conexión trifásica para 4 HILOS.

Tabla IV. **Tablero de distribución principal de morteros secos**

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL DE MORTEROS SECOS**

Ubicación: cuarto principal del área de morteros secos

Voltaje: 480/277 v, estrella aterrizada

Descripción: barras de 3000 a, trifásico, 480 v, 4 hilos (3 hilos + tierra)

No	DESCRIPCIÓN	CARGA EN KVA	FASE A	FASE B	FASE C
1	Tablero ventomatic	665.11	221.70	221.70	221.70
2	Tablero Mtec	1330.22	443.41	443.41	443.41
3	Banco de capacitores	0	0	0	0
4	Space	166.28	55.43	55.43	55.43
5	Space	166.28	55.43	55.43	55.43
6					
<b>TOTAL POR FASE EN KVA</b>			<b>775.92</b>	<b>775.92</b>	<b>775.92</b>
<b>TOTAL EN KVA</b>			<b>2,327.77</b>		

Fuente: Cisma, Diagrama unifilar de la planta de morteros secos

Figura V. **Tablero de distribución del área de Mtec**

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE MTEC**

Ubicación: en el cuarto eléctrico de Mtec

Voltaje: 480/277 v, estrella aterrizada

Descripción: barras de 800 a, trifásico, 480 v, 4 hilos (3 hilos +tierra)

No	DESCRIPCIÓN	CARGA EN KVA	FASE A	FASE B	FASE C
1	CCM de ready mixer plant	288	96	96	96
2	Control de mando r-m-plant	48	16	16	16
3	CCM de sand preparation	48	16	16	16
4	Control de sand preparation	576	192	192	192
	Convertidor de a/c	60	20	20	20
5	Centro de carga de iluminación y servicios generales de ventomatic	60	20	20	20
6	Space	48	16	16	16
7	Space	48	16	16	16
8	Tomacorrientes de 480 V	33.6	11.2	11.2	11.2
9	Tomacorrientes de 480 V	33.6	11.2	11.2	11.2
10	Compresor de 480 V	192	64	64	64
<b>TOTAL POR FASE</b>			<b>478.4</b>	<b>478.4</b>	<b>478.4</b>
<b>TOTAL EN KVA</b>			<b>1435.2</b>		

Fuente: Cisma, Diagrama unifilar de la planta de morteros secos

Tabla VI. **Tablero de distribución principal de Ventomatic**

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL DE VENTOMATIC**

Ubicación: en el cuarto eléctrico de ventomatic  
 Voltaje: 480/277 v, estrella aterrizada  
 Descripción: barras de 800 a, trifásico, 480 v, 4 hilos (3 hilos +tierra)

No	DESCRIPCIÓN	CARGA EN KVA	FASE A	FASE B	FASE C
1	CCM de infilot	9.6	3.2	3.2	3.2
2	CCM de polimat	33.6	11.2	11.2	11.2
3	CCM de ventosort	144	48	48	48
4	Centro de carga de iluminación y de servicios generales de ventomatic	60	20	20	20
5	Convertidor de a/c	24	8	8	8
6	Tomacorrientes de 480 v	33.6	11.2	11.2	11.2
7	Tomacorrientes de 480 v	33.6	11.2	11.2	11.2
8	Space	48	16	16	16
9	Space	48	16	16	16
10					
<b>TOTAL POR FASE</b>			<b>144.8</b>	<b>144.8</b>	<b>144.8</b>
<b>TOTAL EN KVA</b>			<b>434.4</b>		

Fuente: Cisma, Diagrama unifilar de la planta de morteros secos

Dentro de los tableros de distribución (DP), están contenidos todos los interruptores termo magnéticos de baja tensión que protegen todas nuestras líneas repartidoras y demás aparatos eléctricos.

Todos los interruptores termo magnéticos se calcularon utilizando la segunda ley de Kirchoff, donde la formula es:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N$$

A continuación se presenta la tabla de todos los interruptores termo magnético instalado en los tableros de distribución.

Tabla VII. **Interruptores termomagnéticos**

Tabla de interruptores termomagnéticos para los tableros de distribución

ITEM	BRANCH	TD DISTRIBUCION PRINCIPAL	TD DE VENTOMATIC	TD DE MTEC
1	Principal	3x7000	3x1000	3x3500
2	Ramal 1	3x1200	3x20	3x600
3	Ramal 2	3x1000	3x70	3x100
4	Ramal 3	3x200	3x300	3x100
5	Ramal 4	3x200	3x50	3x1200
6	Ramal 5	3x3500	3x125	3x100
7	Ramal 6		3x70	3x125
8	Ramal 7		3x70	3x100
9	Ramal 8		3x100	3x100
10	Ramal 9		3x100	3x70
11	Ramal 10			3x70
12	Ramal 11			3x400

Fuente: Cisma, Diagrama unifilar de la planta de morteros secos

La colocación de los tableros de distribución se hizo con base en la selección de lugares de fácil y libre acceso.

El tablero de distribución principal de todo el proyecto de morteros secos, se instalo en el primer nivel del área de Mtec, por la cercanía al transformador del proyecto y para evitar accidentes al ocurrir un sismo telúrico. A continuación se presenta una foto de dicho tablero.

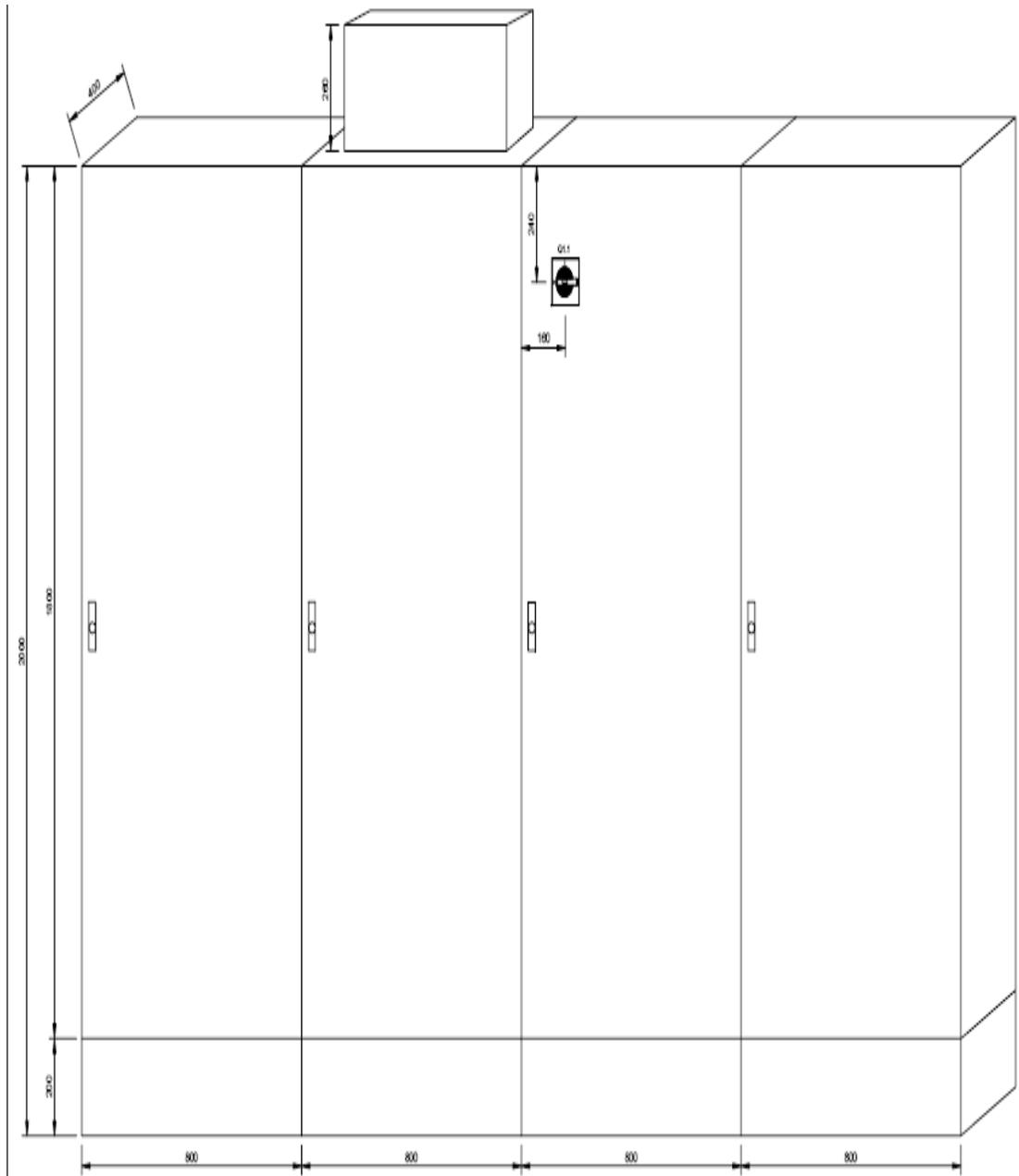
**Figura 6. Foto de un tablero de distribución principal**



Fuente: Siemens, Panel de distribución

El tablero de Ventomatic se colocó en las cercanías a la paletizada, con el fin de que al momento de ocurrir una falla, los electricista de turno, puedan responder inmediatamente a la emergencia, a continuación se presenta una foto de dicho tablero.

Figura 7. Foto de tablero de Ventomatic

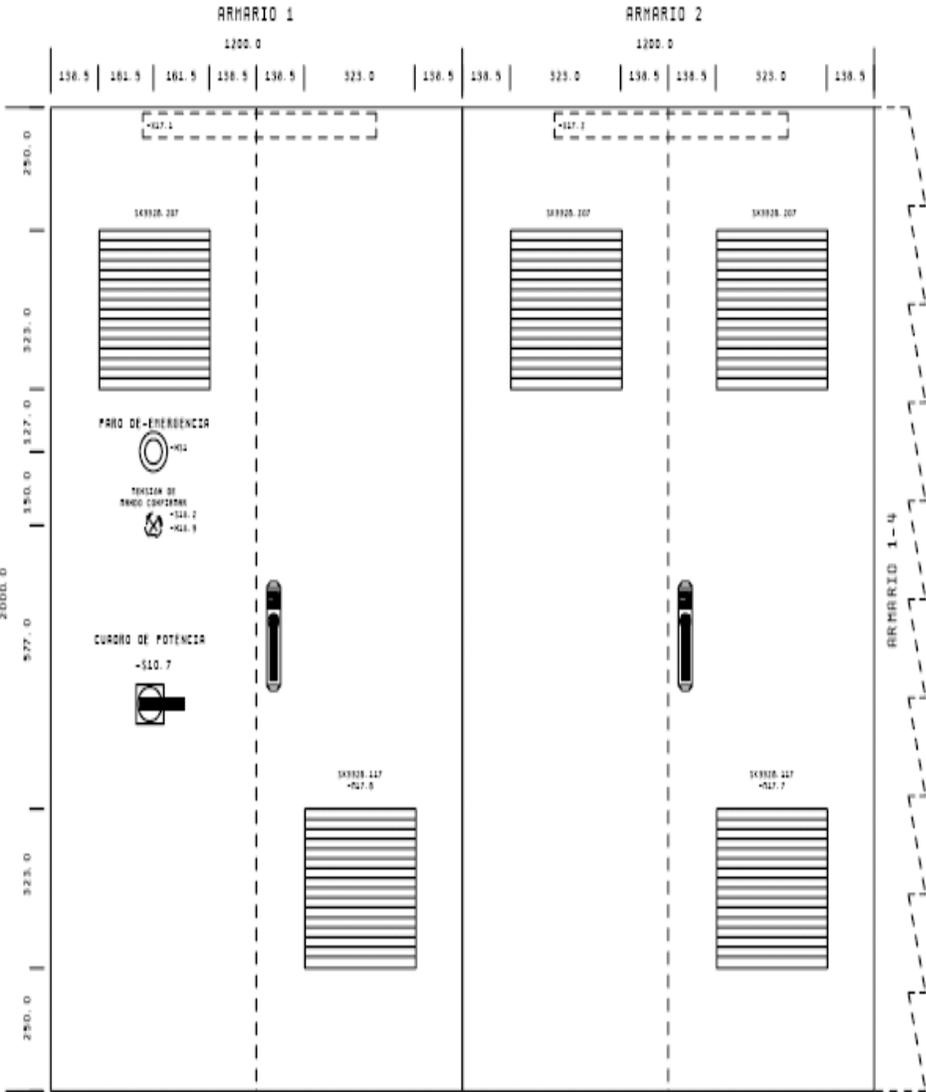


Fuente: Ventomatic, centro de control de motores

El tablero de Mtec se colocó en las cercanías al cuarto de control, con el fin de que al momento de ocurrir una falla, los operarios de turno, puedan responder

inmediatamente a la emergencia, avisando a los electricistas lo que está sucediendo, a continuación se presenta una foto de dicho tablero.

Figura 8. Foto de tablero de Mtec



Fuente: Mtec, centro de control de motores

## 2.7 Protocolo de comunicación industrial

A continuación se describe qué es un protocolo de comunicación industrial y los tipos de protocolos.

### 2.7.1 Definición de protocolo de comunicación industrial

También llamado protocolo de red o protocolo de comunicación, es el conjunto de reglas que especifican el intercambio de datos u órdenes durante la comunicación entre las entidades que forman parte de una red.

### 2.7.2 Tipos de protocolo de comunicación industrial

Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo.

Los buses de campo con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son:

- Hart
- Profibus
- Fieldbus Foundation

**HART:** el protocolo Hart (*High way-addressable-remote-transducer* –modo transductor de alta direccionabilidad a distancia-) agrupa la información digital, sobre la señal analógica típica, de 4 a 20 mA de DC. La señal digital usa dos frecuencias de 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos de 1 y 0 respectivamente, y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 mA.

Como la señal promedio de onda sinusoidal es cero no se añade ningún componente a la señal analógica de 4-20 mA, lo que permite continuar utilizando la variación analógica para el control del proceso.

**Profibus** (*Process Field Bus* –barra de campo-): norma Internacional de Bus de campo de alta velocidad para control de procesos y normalizada en Europa por EN 50170 y se clasifica en:

- Profibus DP
- Profibus PA
- Profibus FMS

**Foundation:** es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido.

Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización, esta orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de procesos continuos. Los dispositivos de campo son alimentados a través del bus Fieldbus, cuando la potencia requerida lo permite.

**Modbus:** es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos con control centralizado, puede comunicarse con una o varias estaciones remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso.

La interfase de capa física puede estar configurada en RS 232, RS 422, RS 485, en modbus los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión que son:

- Modo RTU
- Modo ASCII

**Device Net:** red de bajo nivel adecuada para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, push cord, etc., y dispositivos de alto nivel (PLCs, controladores, HMI, entre otros). Provee información adicional sobre el estado de la red, cuyos datos serán desplegados en la interface del usuario.

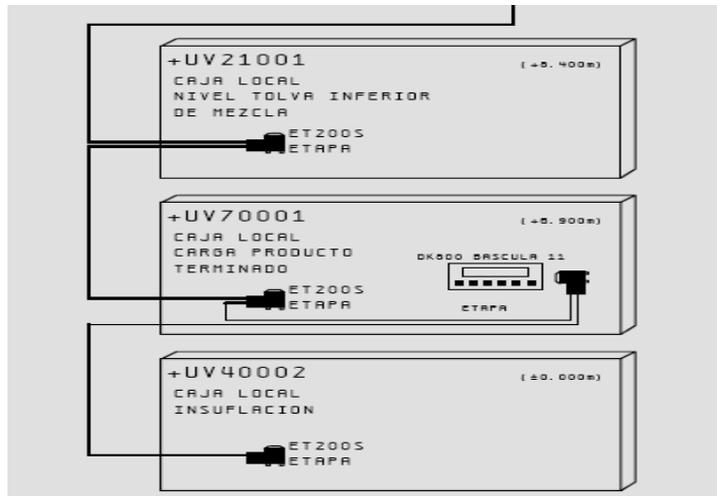
### **2.7.3 Definición del protocolo de comunicación profibus DP**

En la comunicación existente entre una estación maestra y los dispositivos de campo, se utiliza el intercambio de datos predominantemente binarios.

Podemos tener hasta 32 estaciones en un solo segmento y hasta 127 estaciones en una red completa.

En la red de profibus DP se pueden tener un número específico de esclavos, pero también se pueden conectar módulos de interfase hombre-máquina. En la siguiente página se muestra el diagrama unifilar de una red Profibus DP.

Figura 9. Diagrama unifilar de una Red Profibus



Fuente: Mtec, diagrama de flujo de la planta de morteros secos

#### 2.7.4 Aplicación de conceptos para el cableado del protocolo de comunicación

Todos los dispositivos de campo, están conectados con el protocolo Device Net (dispositivo de red). La red de comunicación de todos los PLCs, celdas de carga y panel de operador, están conectadas en Profibus DP.

En el diagrama esquemático de conexión se tiene una estación de trabajo -que es el maestro- y 2 segmentos de cableado. El primer segmento incluye los siguientes equipos eléctricos:

- Tolva inferior de mezcla
- Carga de producto terminado
- Bascula número 11
- Caja local de insuflacion
- Caja local de molino

El segundo segmento incluye los siguientes equipos eléctricos:

- Panel principal de Mtec
- Mezcladora
- Bascula 1, 2, 3, 4
- Panel del nivel de silos

De la teoría se sabe que se puede tener 32 estaciones de trabajo, en el proyecto, se montaron 2 estaciones de trabajo, para los 2 segmentos. Lo que no produce, ningún problema de comunicación.

De la teoría, se sabe que en Profibus DP se utilizan, con señales predominantemente digitales, lo cual cumple, porque la gran mayoría de elementos instalados fueron: arranque y paro de motores de inducción, cuerdas de disparo, encoder, pulsadores de botón, todos estos dispositivos emiten señales digitales.

Los sensores analógicos instalados reciben señales de 4 a 20 mA, dichas señales son procesadas por el protocolo Device Net, y transformadas a señales digitales para la comunicación en Profibus DP.

En una red Profibus se tienen nodos activos y pasivos, los activos son aquellos que son activados por los BIT switches de los puertos de comunicación, el segmento termina hasta donde se colocan los BIT switches en el estado de OFF.

El cable profibus de Helukabel cumple con la norma EN 50170, que es el normativo para un cable de red profibus.

## **2.8 Fuente de emergencia (Uninterruptible Power Source –fuente de alimentación ininterrumpida)**

A veces llamada fuente de respaldo, el UPS es un dispositivo que mantiene un suministro continuo de potencia eléctrica. Este dispositivo suministra potencia al equipo, cuando la fuente de voltaje de la red del sistema nacional, no esta disponible.

El UPS está instalado entre la fuente de potencia de la red nacional y la carga a ser protegida.

Cuando ocurre una falla o anomalía en el servicio eléctrico, el UPS hará el switcheo del servicio eléctrico al suministro de voltaje del UPS, casi instantáneamente.

Los UPS son utilizados para proteger computadoras, equipos de telecomunicaciones o cualquier otro equipo eléctrico, donde una falla de potencia eléctrica, podría causar daños, muertos, pérdidas económicas serias o pérdidas de datos.

Existen UPS desde 200 VA, hasta unidades completas para centros de computación o edificios.

### **2.8.1 Tipos de UPS**

Los UPS se dividen: en línea y fuera de línea

**UPS en línea:** son aquellos que suministran potencia a la carga continuamente, por medio de una fuente de energía interna, como es el caso de los UPS con batería estática. La batería es continuamente cargada por la potencia de entrada.

**UPS fuera de línea:** en un sistema en *Stand by*, la carga es energizada directamente por el circuito de potencia de servicio de entrada, y el circuito de respaldo es solamente utilizado cuando ocurren fallas de potencia eléctrica en la entrada de servicio.

Para UPS inferiores a 1 KVA los modelos ofrecidos son del tipo *Stand by*, sus costos son mucho más baratos, pero presentan la deficiencia del retraso entre un fallo de potencia de suministro y la potencia suministrada por el UPS.

### **2.8.2 Parámetros de selección de un UPS**

En la selección de un UPS existen dos factores que deben ser considerados al seleccionarlo y estos son:

- Potencia Aparente y Real, en VA y en *Watts*
- El *runtime* que puede proporcionar el UPS

Los valores de potencia eléctrica, representan el valor máximo de carga que pueden respaldar, este valor máximo, corresponde a un 80 % de la carga total. Deben hacerse consideraciones especiales al conectar ciertos equipos como: fotocopiadoras o cualquier tipo de carga motorizada.

El segundo factor se refiere al tiempo que el UPS puede mantener energizada la carga, cuando ocurre una falla de potencia eléctrica.

Por ejemplo para UPS de 350/210 (VA/W) y un runtime de 5/15 lo que indica es lo siguiente: a plena carga, el UPS puede mantener energizada la carga por 5 minutos, al 50 % de la carga el UPS puede mantener energizada la carga por 15 minutos.

Dicho número variará con la acumulación de carga que se tenga conectada al UPS. Por ejemplo, para una sola computadora el tiempo de carga es de 15 minutos, al conectar 2 computadoras, el tiempo de carga es de 7.5 minutos o menor.

Otro factor importante que debe ser considerado al seleccionar un UPS, es la tecnología de rectificación utilizada, para convertir la CA a CC.

A continuación se presenta una tabla de datos de un UPS y su curva característica de runtime de un UPS.

**Tabla VIII. Datos de un UPS**

Selection Table					
Capacity (VA/W)	Catalog Number	Volts, Frequency In/Out	Typical Back-up Time (minutes)*	Input Plug/ Output Receptacle	Approx. Ship Weight lbs (kg)
320/240	S1K320	115 Vac, 50 or 60 Hz	10	5-15P / 5-15R (3) Battery (1) Surge	8.8 (4.0)
520/340	S1K520		15		11.6 (5.3)
650/390	S1K650		15		8.1 (3.7)
850/600	S1K850		25		10.8 (4.9)
1200/720	S1K1200		30		10.8 (4.9)
1500/900	S1K1500		70	5-15P / 5-15R (4) Battery	30.0 (13.6)

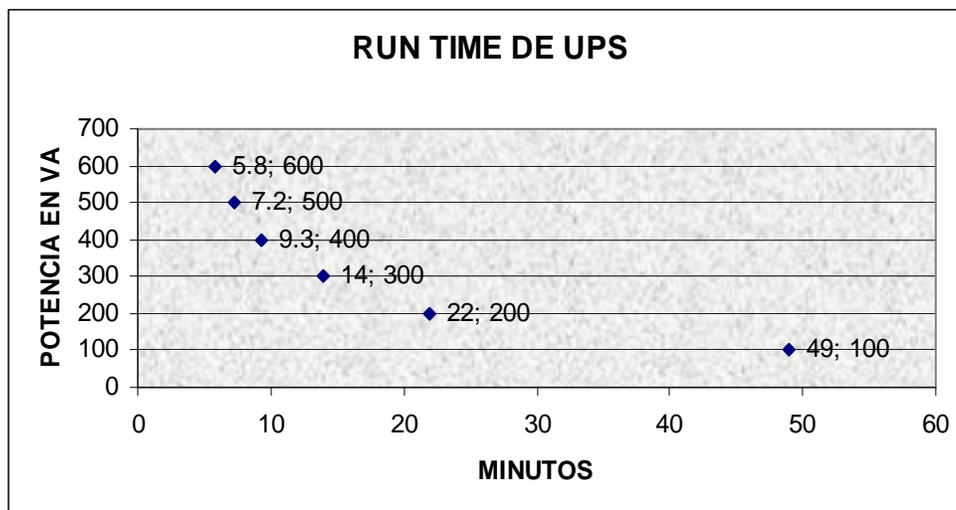
\* For a typical PC with a 15" monitor.

Fuente: Sola/hevi-duty, hoja de datos de run time de un UPS

Figura 10. Hoja de *Run time* para un UPS

Run Time de Ups	
Carga en va	Tiempo en minutos
100	49
200	22
300	14
400	9.3
500	7.2
600	5.8

Fuente: Sola/hevi-duty, hoja de datos de un UPS



Fuente: Sola/hevi-duty, curva de tiempo-porcentaje de carga de un UPS

Figura 11. Foto de un UPS



Fuente: APC, *uninterruptible power supply*

### 2.8.3 Aplicación de conceptos para la selección del UPS del proyecto de morteros secos

El UPS que se instaló en el cuarto de control, se utilizó para la protección de datos y fue conectada en línea, entre las cargas y la potencia eléctrica de suministro.

A continuación se presenta una tabla de selección de datos para la elección del UPS:

Tabla IX. Selección de un UPS

Ítem	Parámetro	Unidades
1	Voltaje	480 V
2	Corriente	12 A
3	Potencia real	15.6 KW
4	Potencia aparente	10 KVA
5	Runtime	10/22 Min

Fuente: APC, hoja de datos de un ups MGE Galaxi 3000

Con estos parámetros se seleccionó el siguiente UPS:

- 10 KVA, 480 V, 3 F, MARCA MGE GALAXI 3000

## 2.9 Arranque de motores eléctricos de inducción

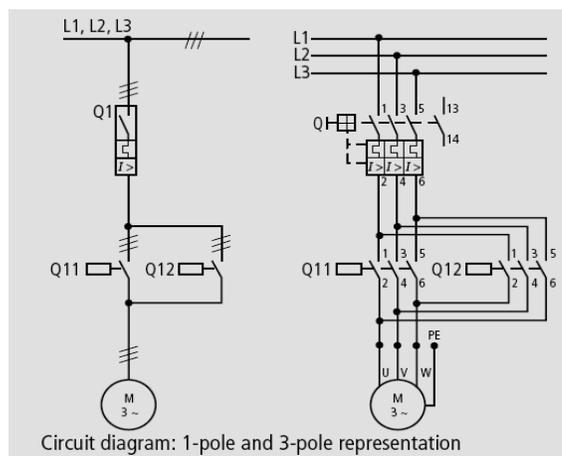
### 2.9.1 Tipos de arranque para motores de inducción

Existen varios tipos de arranque para los motores de inducción, que son:

- Arranque a plena carga
- Arranque con auto transformador
- Arranque con resistencias
- Arranque estrella-delta
- Arranque con variadores de frecuencia
- Arranque con arrancadores de estado sólido

**Arranque a plena carga:** es cuando el motor se pone en marcha, utilizando el voltaje de suministro de la red. A veces, sin embargo, hay buenas razones para no hacerlo así, por ejemplo, la corriente de arranque requerida puede causar una caída en el voltaje del sistema de potencia tal que haga inaceptable el arranque a través de la línea. A continuación se presenta el diagrama esquemático de arranque a plena carga.

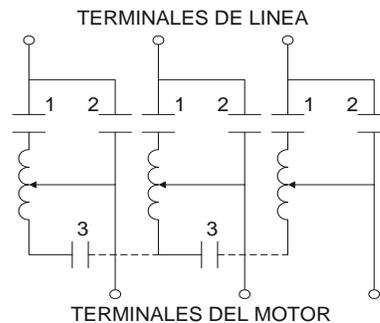
**Figura 12. Diagrama de potencia de un arranque a plena carga**



Fuente: *Klockner moeller*, manual de esquemas

**Arranque con auto transformador:** es cuando se utiliza un auto transformador para el arranque del motor, el arranque se hace con un voltaje reducido presente en las líneas del motor durante el arranque. Durante el arranque los contactos 1 y 3 están cerrados y suministran un voltaje bajo al motor. Una vez que el motor ha tomado la velocidad nominal, se abren esos contactos y se cierran los contactos 2, que permiten la aplicación de voltaje pleno de la línea al motor.

Figura 13. **Diagrama de arranque con auto transformador**



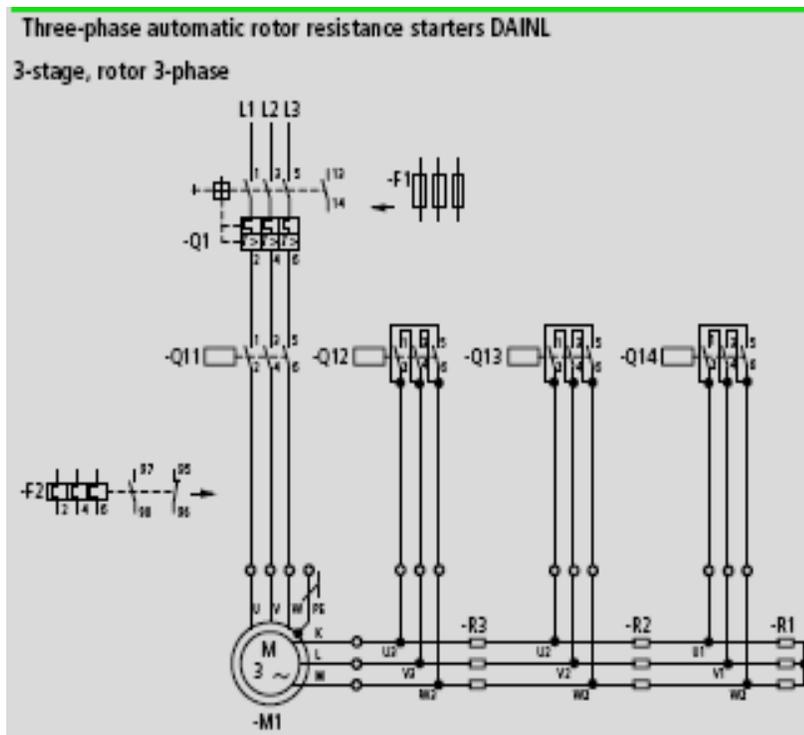
Fuente: *Klockner moeller*, manual de esquemas.

**Arranque con resistencias:** es el circuito de arranque de un motor de inducción, que está dotado de resistencias para reducir el flujo de corriente de arranque. En este circuito se utilizan temporizadores para controlar la salida de la resistencia de arranque, los temporizadores utilizados para el control de la resistencia son del tipo on-delay o de retardo a la conexión, ya que cuando se energizan hay un retardo constante en el tiempo antes de que cierren sus contactos.

Cuando se pulsa el botón de arranque, se energiza el rele Q11 y se aplica potencial al motor, puesto que los contactos 12TD, 13TD y 14TD están todos abiertos, la resistencia completa de arranque esta en serie con el motor y reduce la corriente de arranque.

El rele 14TD se energiza cuando se cierran los contactos Q11; sin embargo hay un atraso de tiempo finito antes que se cierren los contactos de 14TD, durante este tiempo el motor acelera parcialmente y la corriente de arranque declina un poco. Después de este tiempo se cierran los contactos de 14TD cortocircuitando parte de la resistencia de arranque y energizando simultáneamente el rele 13TD. Luego de otro retardo, se cierran los contactos de 13TD, cortocircuitando la segunda parte de la resistencia y energizando al rele 12TD. Por último, se cierran los contactos 12TD y la resistencia de arranque queda por completo fuera del circuito. Una cuidadosa selección de los valores de las resistencias y de los tiempos de retardo permiten utilizar este circuito de arranque para evitar que la corriente de arranque llegue a ser peligrosamente alta mientras permite el flujo suficiente de corriente para asegurar la pronta aceleración hasta las velocidades normales de operación.

**Figura 14. Diagrama de arranque con resistencias**

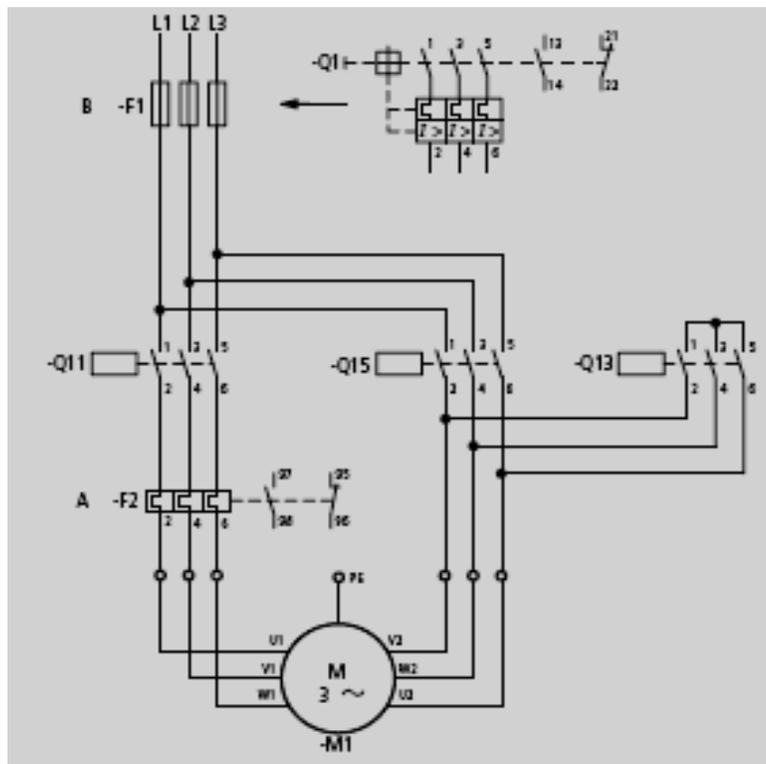


Fuente: *Klockner moeller*, manual de esquemas

**Arranque estrella-delta:** en este arranque se combinan las propiedades eléctricas de las conexiones en estrella y en delta.

En el arranque del motor se le suministra un voltaje de fase, de 0.58 veces el voltaje de la línea, para la conexión en estrella. Después de que el motor alcanza su velocidad y par nominal, se conmuta de la conexión estrella a la conexión delta y se le suministra al motor una corriente de fase, de 0.58 veces la corriente de línea, para la conexión en delta.

Figura 15. Arranque estrella delta



Fuente: *Klockner moeller*, manual de esquemas

**Arranque con variadores de velocidad:** un variador de frecuencia es un generador de voltaje de frecuencia variable, el cual al tomar su alimentación de una red trifásica o monofásica, da una sola alimentación trifásica única, para la carga del motor.

El arranque de un motor de inducción, se hace utilizando los parámetros de curva de arranque del motor, los cuales presentan diferentes pendientes de arranque lineal, el cual es seleccionado por el usuario para optimizar el arranque de su motor. La ventaja principal de un variador de frecuencia es la modificación de la velocidad nominal del motor, a fin de conseguir que nuestro proceso de trabajo sea más lento o más rápido.

**Arranque con arrancadores de estado sólido:** son dispositivos electrónicos que utilizan la electrónica de potencia, para controlar la corriente de arranque, a voltaje reducido de un motor de inducción.

Para realizar el arranque, se utiliza un microprocesador para obtener la versatilidad, en las curvas de arranque del motor. La principal ventaja de arrancador de estado sólido radica, en que con un solo arrancador, se puede realizar el arranque de varios motores que no excedan su potencia nominal, su desventaja con respecto al variador de frecuencia, es que no puede manipular la velocidad nominal de un motor de inducción.

## **2.9.2 Tipos de conexiones eléctricas para motores de inducción**

Los motores tienen las siguientes conexiones eléctricas:

- Conexión estrella
- Conexión delta
- Conexión estrella-serie
- Conexión delta-serie
- Conexión estrella-paralelo
- Conexión delta-paralelo
- Conexión Dahlander
- Conexión para 2 velocidades con dos devanados separados

- Conexión para 3 velocidades

### 2.9.3 Aplicación de conceptos para el montaje de motores del proyecto de morteros secos

Tabla X. Comparación de tipos de arranque

Important data and features of three-phase automatic starters				
1) Style of starter	Stator resistance starter (for squirrel-cage motors)			Rotor starter (for slipping rotors)
2) Type of starter	Star-delta switches	With starting resistors	With starting transformers	Rotor resistance starter
3) Number of starting stages	1 only	Normally 1	Normally 1	Selectable (no longer selectable when current or torque have been determined)
4) Voltage reduction at the motor	$0.58 \times$ rated operational voltage	Selectable: $a \times$ rated operational voltage ( $a < 1$ ) e.g. 0.58 as with $\Upsilon\Delta$ starter	Selectable: $0.6/0.7/0.75 \times U_a$ (transformer tapplings)	None
5) Starting current taken from mains	$0.33 \times$ inrush current at rated operational voltage	$a \times$ inrush current at rated operational voltage	Selectable (see 4) $0.36/0.49/0.56 \times$ inrush current at rated operational voltage	Selectable: from 0.5 to about $2.5 \times$ rated current

Fuente: *Klockner moeller*, manual de esquemas

De la tabla anterior se deduce que para arrancar un equipo, se debe hacer un estudio de energía, lo cual representa en costos de energía y el tipo de aplicación que tendrá el motor, para hacer nuestra selección del circuito de arranque.

En el área de ventomatic se utilizaron variadores de velocidad para controlar las velocidades de las bandas de transporte de rodillos y de fajas. En esta área el motor más grande es el compresor, el arranque se hizo en estrella-delta.

En el área de M-tec, se utilizaron diferentes tipos de arranque para motores, porque es donde se tenía la mayor cantidad de equipo pesado.

El arranque de ventiladores se hace directamente, el arranque de tornillos sin fin se realizo con arrancadores suaves y el arranque del molino de piedra, se hizo con un arrancador Sikostar de Siemens.

## **2.10 Sistema de puesta a tierra**

En una instalación las conexiones a tierra se utilizan para dos propósitos: protección del equipo y protección de las personas. La conexión a tierra ayuda a:

- Reducir costos de operación y mantenimiento
- Reducir al mínimo los voltajes transitorios
- Eliminar la fluctuación de los voltajes
- Mejorar la confiabilidad del servicio
- Restringir el desplazamiento del neutral
- Mejorar la protección contra sobrecargas
- Localizar y aislar circuitos puestos a tierra, accidentalmente
- Asegurar que las personas no estén expuestos a voltajes altos

### **2.10.1 Aterrizamiento del sistema para protección de las personas**

La mayoría de los expertos concuerdan en que un sistema puesto a tierra hace más seguro el trabajo del personal y más confiable en cuanto al servicio prestado.

El uso de resistencias tiene por objeto limitar la corriente de cortocircuito en sistemas con cargas trifásicas. También se requiere este sistema para operar algunos relevadores de falla a tierra.

Los sistemas solidamente conectados a tierra, presentan el inconveniente de que las corrientes de corto circuito pueden ser muy altas, pero en sistemas industriales hasta 600 V, es el método más recomendado.

Para voltajes más altos es generalmente más recomendable la puesta a tierra por medio de una resistencia que limita la corriente de falla monofásica a la trifásica.

### **2.10.2 Tierra de equipos**

La conexión a tierra de equipos, se entiende como la puesta a tierra de las armazones metálicas y otras partes expuestas que no llevan la corriente de alimentación de la máquina. Esta conexión siempre debe ser lo más directo posible.

La tierra también es importante para evitar las consecuencias desagradables y peligrosas de la electricidad estática.

### **2.10.3 Tipos de configuraciones de puestas a tierra**

Existen varios tipos de conexiones a tierra que son: varillas de tierra, mallas de tierra y barras de tierra, a continuación se presenta la descripción de cada uno de ellos:

**Varillas de tierra:** aunque se pueden utilizar varillas de tubo galvanizado, generalmente se prefieren las varillas tipo Cooperweld, fabricadas especialmente con un alma de acero para rigidez mecánica y cubiertas con un baño de cobre para asegurar mejor conductividad.

Estas varillas deben introducirse a golpe de almádana y se realiza la conexión con un mortero explosivo.

Para mejorar la resistencia de tierra, se pueden utilizar tratamientos con sulfato de magnesio, sulfato de cobre y aun con sal común. El sulfato de magnesio es preferible, por ser el menos corrosivo.

**Mallas de tierra:** es un reticulado formado por la unión de conductores horizontales, normalmente según direcciones perpendiculares y uniformemente espaciados, incluyendo eventualmente conductores verticales. Se utiliza especialmente cuando el objetivo principal de la puesta a tierra es mantener un control de potenciales en la superficie del terreno, con un bajo valor de resistencia. Para un diseño aproximado se puede utilizar el siguiente método, basado en la fórmula de Laurent-Niemann:

$$R = \frac{\text{Resistividad} - \text{terreno}}{4xr} + \frac{\text{Resistividad} - \text{terreno}}{L}$$

Siendo R la resistencia a tierra en ohms

La resistividad del terreno esta dada en ohms-metro

r es el radio en metros de un círculo de área equivalente a la malla

L es la longitud del cable enterrado en metros

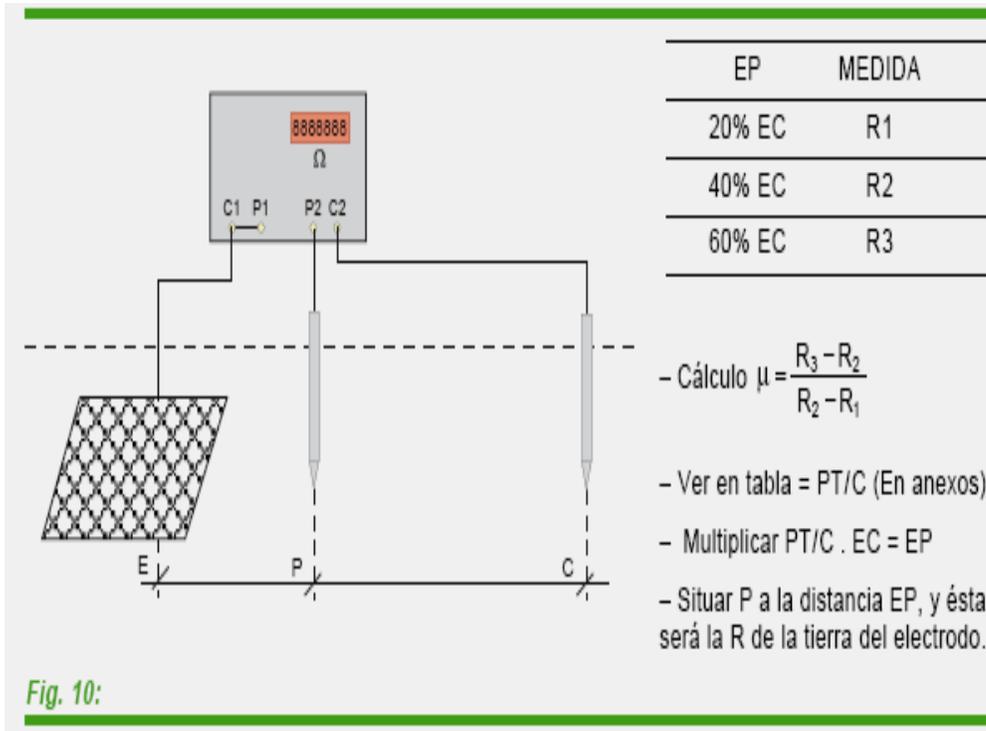
**Placas de tierra:** los electrodos de placas son de cobre o de acero galvanizado. Las planchas de acero galvanizado tienen un mínimo de 3 mm de espesor y son

cuadradas de 915 o 1220 mm por lado. Las planchas de cobre son típicamente cuadradas 600 o 900 mm de lado y entre 1.6 y 3 mm de espesor.

**Método de pendiente:** el método de pendiente esta diseñado en su mayor parte para sistemas de electrodos que cubren una gran área de terreno y la medición se realiza de la siguiente forma:

- a. Las terminales de potencial cero se conectan al electrodo de referencia.
- b. La terminal de potencia se coloca a una distancia del 20, 40 y 60 por ciento del electrodo de referencia cero.
- c. Mediante la fórmula  $\mu = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1}$  se obtiene el valor de  $\mu$ .
- d. Multiplicar P/C por EC y obtener la distancia EP (Para el  $\mu$  aparece un valor de P/C en las tablas del Dr. TAGG).
- e. Poner la terminal de potencial a la distancia de EP hallada y, tomar la lectura. Esta lectura es la resistencia de tierras del electrodo bajo prueba.

Figura 16. **Conexión de un megger, para la medición de tierras**



Fuente: Ing. Gregor Rojas, Manual de sistemas de puesta a tierra, capítulo 1

## 2.10.4 Aplicación de conceptos para el aterrizamiento del proyecto de morteros secos

Figura 17. Foto de valores de resistividad del terreno

### HOJA DE CALCULO

CISMA,S.A.

MEDICION DE RESISTENCIA DE SISTEMAS GRAND

PROYECTO: PLANTA DE MORTEROS SECOS  
 LOCALIZACION: PLANTA LA PEDRERA ZONA 6, CEMENTOS PROGRESO  
 EMPLAZAMIENTO: PLANTA DE MORTEROS SECOS  
 DATOS DEL MEDIDOR: MEGGER, MODELO DET5/4R  
 OPERADOR: JUAN CARLOS GONZALEZ  
 METODO: PENDIENTE  
 FECHA: 17 DE MAYO DE 2006

PARA Z1=		85	MTS
PUNTO	"P="	"R="	
20%	17.0	7.00	
40%	34.0	6.00	
60%	51.0	5.00	
	46.1	5.00	

$$\text{PENDIENTE} = R3' - R2 / R2 - R1$$

$$m = 1$$

PARA m SEGUN TABLA

$$P/C = 0.542$$

$$P = C * 0.589$$

$$P = 46.07 \text{ MTS}$$

Fuente: Cisma, hoja de reporte de medición de puesta a tierra

Figura 18. Foto de valores de la resistencia del terreno, medidos con el megger de tierra

	Pies - mts	OHMIOS
20%	17.415	7
40%	34.83	6
60%	52.245	5
54.21	46.7	5

Fuente: Cisma, hoja de reporte de medición de puesta a tierra

Las recomendaciones para valores máximos de resistencia a tierra son muy variables. Generalmente, se aplican los valores siguientes:

Generadores y subestaciones grandes	$\leq 1$ ohmio
Subestaciones pequeñas	$\leq 5$ ohmios
Plantas industriales	$\leq 5$ ohmios
Instalaciones pequeñas	$\leq 25$ ohmios

El valor que se utilizó para diseñar el sistema de tierras de la planta de morteros secos fue de 5 ohmios.

Con el método de pendiente se midió la resistividad del terreno cuyo valor es de: 4060 ohms-cm.

Utilizando la fórmula de Laurent-Niemann se calculó la longitud de cable que se necesita para realizar el sistema de tierras, la longitud del cable es de: 1176.68 metros.

Después de haber finalizado el trabajo de sistemas de tierras se comprobó la resistencia del sistema de tierra, se utilizó el método de pendiente y el valor obtenido para la malla fue de 5 ohmios.

El ploteo de los datos se muestran en las figura 18, a continuación se detallan los pasos para medir la resistencia del sistema de tierras:

- a. Se colocó el electrodo de potencial cero, a la red del sistema de tierra, para obtener una referencia cero.
- b. Se colocó el electrodo de corriente a una distancia de 85 metros.
- c. El electrodo de potencial se colocó a 17, 34 y 51 metros y se obtuvieron las resistencias de 7, 6 y 5 ohmios.

$$\mu = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1}$$

- d. Con la fórmula se plotearon los datos y se obtuvo una pendiente de 1.
- e. Para una pendiente de uno, el valor de P/C es de 0.541.
- f. Despejando C se obtuvo P, el valor de P es de 46.07 m, este valor se obtuvo de multiplicar 0.541\*85.
- g. Colocando el electrodo de potencial P a 46.07 metros, se midió la resistencia del sistema de tierra con el megger y se obtuvo que el valor es de 5 ohmios, este valor representa el valor del sistema de tierra.

## 2.11 Limitamp

Los controladores Limitamp se diseñan principalmente para el control de motores, en sistemas de distribución de 2400, 4160 o 4800 voltios. Los arrancadores de 7200 voltios están disponibles para aplicaciones limitadas. Debido a su flexibilidad, se le dan otros usos a este equipo. Algunos de los usos que se les dan son:

Limitamp tipo archivo que consiste de un fusible aislado y un switch principal. El limitamp tipo archivo con 4 controladores tipo nema, clase E2, los primeros tres son usados como controladores de motores y el último como un alimentador de un transformador.

Limitamp tipo archivo con tres alimentadores para motores y un alimentador para un transformador, están incluidos en un diseño compacto de un limitamp.

Limitamp tipo archivo, que consiste de un interruptor principal de aislamiento de doble tiro, se usa como un centro de control de motores nema, clase E2.

Limitamp tipo archivo, que consiste de dos controladores de motores limitamp nema clase E1, cada uno tiene una capacidad de interrupcion indicada por la tabla XI.

Tabla XI. **Capacidad de corriente de cortocircuito de un limitamp**

Contactor Type and Rating	Interrupting Rating rms symmetrical (mVA)			
	2400 Volts	4200 Volts	5000 Volts	7200 Volts
CR193B 400 Amp	25	43	50	75
CR193D 400 Amp	25	43	50	—
CR193C 800 Amp	37	65	75	—

Fuente: *General Electric*, Guía de aplicación y selección del Limitamp CR194

### **2.11.1 Aplicación de conceptos para la selección de un limitamp**

Los transformadores que se pueden proteger con limitamp, utilizan equipos, cuyos voltajes primarios están comprendidos entre los 2400 a 7200 VAC. En el proyecto de morteros secos se utilizó un limitamp de 2400 VAC.

Para proteger adecuadamente un transformador, es necesario definir los requisitos de las protecciones y las áreas donde se instalarán deberán de ser consideradas por las protecciones, estas son:

- Falla en el devanado del transformador (primaria y secundaria)
- Single phasing, que resulta de un fenómeno conocido como ferro-resonancia
- La sobrecarga del transformador

Estas funciones son básicas y no necesitan ser comprendidas. La falla a tierra, el diferencial, la falla de presión, y el bajo voltaje a menudo se requieren, y también deberían poder agregarse a un control dado. El trafo fue protegido, utilizando un MULTILIN 745 DE GENERAL ELECTRIC, quien es el que gobierna el contactor de potencia en vacío DEL LIMITAMP.

En resumen, un trafo de control no debe permitir que la corriente de inrush provoque una perturbación momentánea de disparo externo en las líneas de alimentación.

Los fusibles se seleccionan para limpiar las altas corrientes de falla en la primera mitad del ciclo de falla y que permiten al contactor energizar un transformador que opera sin las corrientes de inrush. (Las corrientes de Inrush ocurren cuando se energiza el transformador, típicamente son de 8-12 veces más grandes que el amperaje nominal para 0.1 segundos).

Un problema muy común en los transformadores monofásicos es el fenómeno conocido como ferro resonancia, el cual ocurre cuando un transformador está descargado o ligeramente cargado con iluminación, o se mantiene un conductor abierto en el circuito primario. La ferro resonancia causa la sobre tensión de voltaje en el sistema como resultado de la inductancia base del transformador que se forma en un circuito con la capacitancia distribuida del sistema.

Para evitar la ferresonancia, las tres líneas deben ser interrumpidas simultáneamente con un contactor de medio-voltaje. Sin embargo, si un fusible de línea se abre, entonces la falla de fase ocurrirá.

Para prevenir esto, el contactor en medio-voltaje deberá ser suministrado con un mecanismo de disparo tipo striker pin.

Los alimentadores para transformador se utilizan en aplicaciones de proceso críticos donde es muy importante mantener la continuidad del servicio aunque ocurran disturbios en el voltaje del sistema. Los contactores mecánicamente enclavados permiten que el contactor siga permaneciendo cerrado durante un disturbio. Los contactores mecánicamente anclados solo se abren manualmente o por medio de un selenoide de disparo.

El transformador fue protegido con fusibles de potencia y para ello se consideraron los siguientes criterios: 1) Seleccionar fusibles que soporten 1.5 veces la corriente nominal del trafo. 2) Seleccionar fusibles que soporten la corriente de Inrush, que esta en el orden de 8 a 12 veces la corriente nominal del trafo. En la curva característica del fusible el punto seleccionado, debe quedar a la derecha de un punto que tenga como ordenada 0.1 segundo y como absica la corriente deseada. 3) Los fusibles deben quemarse para una corriente igual o superior a 6 veces la corriente

nominal del trafo y la impedancia debe ser inferior al 6%. 4) Los fusibles deben quemarse para los valores de corriente deseados y dentro de los tiempos indicados en la tabla XII.

**Tabla XII. Corriente de cortocircuito y tiempo de fusión**

% Impedancia	Corriente efectiva de cortocircuito simétrico	Tiempo (seg)
4% o menos	25,0 I nominal	2
5%	20,0 I nominal	3
6%	16,6 I nominal	4
7% o más	14,3 o menos veces la I nominal	5

Fuente: *General Electric*, Guía de Aplicación y selección del Limitamp CR194

Para solicitar el multilin se consideraron los siguientes aspectos: 1) La aplicación del producto. 2) Máxima capacidad interruptiva de falla 3) Máxima corriente 4) Máxima corriente de la barra principal 5) Dimensiones del panel 6) Tipo de fusible de potencia 7) Rele de sobrecarga 8) Transformador de potencial 8) Potencia aparente del trafo 8) Tipo de cableado 9) Falla a tierra.

Figura 19. **Foto de un limitamp**



Fuente: *General Electric*, Guía de Aplicación y selección del Limitamp CR194

## **2.12 Rele de protección para transformador (Multilin 745)**

El 745 es un relé de protección de transformador de alta velocidad, basado en un multiprocesador, trifásico, para 2 ó 3 devanados, diseñado para la gestión y protección primaria de transformadores pequeños, medianos y grandes.

El 745 combina elementos de protección diferencial porcentual, sobreintensidad, frecuencia y sobreexcitación, junto a la monitorización de los distintos armónicos, y la distorsión armónica total (THD) en un solo equipo.

El 745 ofrece varias funciones de protección adaptable, El frenado por armónicos adaptable está dirigido al problema de falsos disparos durante la magnetización. Los elementos de sobreintensidad temporizada adaptables, reajustan sus valores de arranque basándose en la capacidad calculada del transformador en caso de suministro de corrientes de carga con alto contenido en armónicos. Los múltiples grupos de ajustes permiten al usuario introducir y seleccionar de forma dinámica, de entre 4 grupos para cumplir los requisitos de protección de las diferentes configuraciones del sistema eléctrico.

La corrección del error de relación del transformador de corriente, monitorea la posición de toma de carga y la corrige automáticamente. La lógica FlexLogic™ permite programar ecuaciones de tipo PLC basadas en entradas lógicas y elementos de protección para asignarlas a cualquiera de las salidas del 745.

La función de auto configuración elimina la necesidad de conexiones especiales a los CTs, ya que conecta todos ellos en estrella.

### 2.12.1 Tipos de protección y control que ofrece el Multilin 745

**Corriente diferencial.** Supone el equivalente a tres relés de corriente diferencial monofásica, capaces de gestionar transformadores de dos o tres devanados. Se dispone de un frenado diferencial porcentual de doble pendiente y frenado por armónicos. Esta característica es necesaria en periodos de energización del transformador, en los que se debe prevenir el fallo por corriente de magnetización. Cada elemento diferencial dispone a su vez de un frenado ajustable por armónicos con 3 métodos programables

Principio de operación básico

$$I_r = I_{\text{restraint}} = (I_1 + I_2 + I_3) / 3$$

$$I_d = I_{\text{differential}} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\% \text{ SLOPE} = (I_{\text{differential}} / I_{\text{restraint}}) \times 100\%$$

**Elementos de sobreintensidad.** Ofrece dos elementos de sobreintensidad instantánea, y uno de sobreintensidad temporizada para cada devanado de fase, neutro calculado (3Io) e intensidad de tierra. Cada elemento temporizado ofrece las siguientes características programables:

- Nivel de intensidad de arranque
- 16 formas de curva
- Multiplicador de curva (dial de tiempos)

- Características de reposición de tiempos lineal o instantánea

**S/I instantánea diferencial.** Dispone de tres elementos de sobreintensidad diferencial instantánea (uno por fase), que permite el control de fallas internas de gran magnitud.

**S/I de secuencia inversa.** Ofrece elementos de sobre intensidad de secuencia inversa temporizados e instantáneos, para una mayor sensibilidad ante fallas de fase. Se asigna un elemento a cada devanado, con las mismas características programables que los elementos de sobreintensidad temporizada de fase y neutro.

**Curvas de S/I de tiempo ajustable.** Calcula la capacidad del transformador en el suministro de corrientes de carga no sinusoidales (según ANSI/IEEE C57 110-1986) con un factor de armónicos dado. Entonces compensa automáticamente las curvas de sobreintensidad temporizada operacionales, para mantener el margen de protección deseado con respecto a la curva de daño térmico del transformador.

**Frecuencia.** Calcula y mantiene una media de funcionamiento de la frecuencia del sistema y de la derivada de la frecuencia ( $df/dt$ ). Para esquemas típicos de deslastre de cargas, se incluyen dos elementos de mínima frecuencia. Para implementar sistemas de deslastre de cargas más complejos, se suministran cuatro elementos de derivada de frecuencia. Todos estos elementos disponen, de ajustes programables, de corriente mínima de funcionamiento, un umbral de arranque de la frecuencia, y un umbral de la derivada ajustado. También posee un elemento de máxima frecuencia que puede utilizarse en un puesto de generación para provocar una desaceleración de la turbina en condiciones de máxima frecuencia.

**Sobreexcitación.** Ofrece elementos de protección para transformadores que sufran condiciones de sobretensión y overfluxing de los generadores/transformadores de la unidad. Hay dos tipos de elementos disponibles:

**Nivel de 5º armónico.** Puede proteger el transformador frente a condiciones de sobretensión provocadas por desequilibrio en el sistema eléctrico.

**Volts/Hz.** Ofrece protección para generadores y transformadores cuando la velocidad del generador se modifica, la protección de máxima tensión debe ser función de la relación tensión/frecuencia. Se ofrecen dos niveles, y cada uno de ellos dispone de ajustes para la tensión mínima de funcionamiento, arranque de Volts/Hz y temporización.

## 2.12.2 Aplicación de conceptos para la programación de un Multilin

Tabla XIII. Tipos de ajuste a los relevadores

ANSI, No. de Relevador	Relay	Función	Comentarios y ajustes recomendados
49	Indicador del punto caliente	Térmica Sobrecarga	Ajuste de fábrica
50G	1 TH	Falla a tierra	Ajuste a 0.25 A
50N/51N	CO-HT	Falla a tierra residual	Ajuste el 50 N, a cuatro veces la capacidad plena del transformador. Use el mínimo TAP para ajustar en 51 N. Ajustar el tiempo de retraso mayor a 0.1 seg. en los valores instantáneos
50/51	CO-HT	Falla de fase	Ajuste el relevador a 50 de modo que no lo haga funcionar para la THRU-FAULT, el máximo pico para el relevador 51 es de 4 a 5 veces la corriente a plena carga.
51N	CO	Falla residual de tierra	Ajuste el TAP a 0.5 AMP y el cuadrante de tiempo, que se coordina con los dispositivos en el sentido descendente.
51	CO	Falla de fase	Ajuste los dispositivos a coordinar con el secundario, a un pico máximo de 250% de autoenfriamiento del transformador.
51G 151G 251G	CO	Falla de tierra	Ajuste el TAP a 0.5 AMP y el cuadrante de tiempo para coordinar con dispositivos de descarga
63	SPR	Falla interna de Trafo	No haga ajustes.
67	CR	Falla de fases	Ajuste sobre el mínimo el TAP y del cuadrante de tiempo para coordinar la protección a altas frecuencias.
67N	CRP	Falla de tierra	Ajuste el TAP A 0.5 A y en el cuadrante número 1
86B	WL	Cierre	No haga ajustes, debe disparar todos los interruptores de barra.
86T	WL	Cierre	No haga ajustes.
87T	CA HU HU-4 HU-4	DIFERENCIAL Falla de fase y falla de tierra	Ajuste los TAPS para corregir la relación de vueltas de los CTS.
87TG	CWC	Fallas de tierras	Ajuste a 0.25 A

Fuente: *General Electric*, Manual de instrucciones del Multilin 745

## 2.13 Banco de capacitores

### 2.13.1 Definición de un banco de capacitores

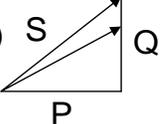
Dispositivo eléctrico que corrige el factor de potencia de un sistema eléctrico, utilizando un microprocesador que hace el ajuste automático de la intensidad reactiva C/K, cuyos componentes principales son:

- Controlador automático
- Barra de potencia
- Protección por etapa
- Contactores
- Bobinas supresoras de transientes
- Condensadores

### 2.13.2 Cálculo de un banco de capacitares

Para calcular un banco de capacitores se hace la relación de la potencia reactiva, como función de la potencia real y del ángulo nuevo y anterior, a fin de corregir la potencia aparente, de un valor anterior a un valor nuevo deseado. A continuación se presenta la relación, para calcular un banco de capacitores:

Figura 20. **Triángulo de potencias**

$$KVAR = KW * (TAN (TETA) - TAN (BETA))$$


### 2.13.3 Aplicación de conceptos para la selección de un banco de capacitores para el proyecto de morteros secos

Las características eléctricas del banco de capacitores son:

Tensión de Servicio: 480VAC

Potencia Capacitiva: 150kVAR

Red: 3F + Pe

Frecuencia: 60Hz

Etapas: 9 etapas de la siguiente manera 150+100+100+50+50+50+25+25+25+25 KVAR programables

El controlador del banco de capacitores es el siguiente:

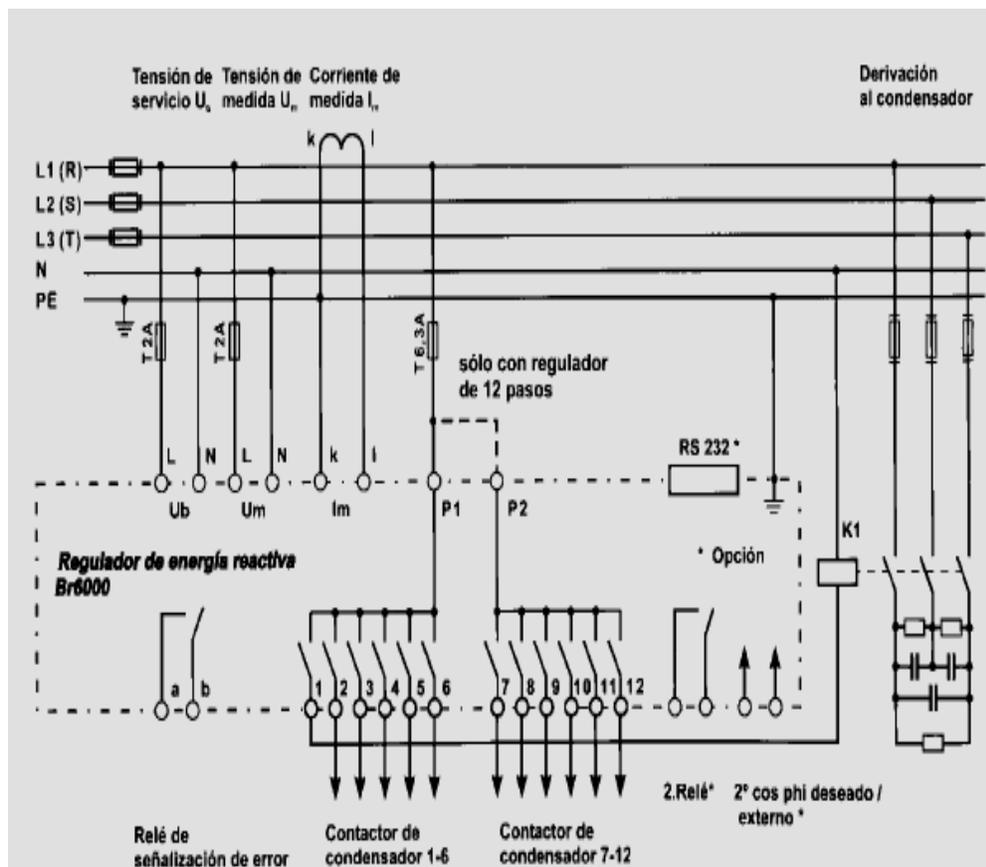
Figura 21. Foto del controlador inteligente de potencia reactiva



Fuente: Elecond, manual del regulador de potencia reactiva Epcos BR6000

El diagrama de conexión se observa en la figura 22.

Figura 22. Diagrama de conexión del controlador inteligente



Fuente: Elecond, manual del regulador de potencia reactiva Epcos BR6000

## 2.14 Controlador lógico programable (PLC)

### 2.14.1 Definición de un controlador lógico programable

Se entiende por controles lógicos programables (PLC), o autómatas programables: toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial, procesos secuenciales.

### **2.14.2 Estructura del controlador programable**

Un controlador lógico programable contiene los siguientes componentes:

- Racks: acomoda los módulos y conecta cada módulo, el uno con el otro
- Fuente de poder: suministra el voltaje de consumo interno
- Unidad de procesamiento central: almacena y procesa el programa del usuario
- Módulos de interfase: conecta los racks, el uno con el otro
- Módulos de señal: adapta las señales que vienen del sistema a señales de nivel de control interno o a señales de control de actuadores, vía señal digital o analógica
- Módulos de funciones: ejecuta procesos complejos o tiempos críticos independientemente de la CPU

### **2.14.3 Aplicación de conceptos para la selección del controlador lógico programable**

Los controladores lógicos programables ofrecen soluciones para un rango de ejecución medio-alto, es por ello importante definir sus características, las cuales son:

- Máxima capacidad de memoria en instrucciones
- Máximo número de entradas y salidas
- Tipo de interfase
- Tiempo de ejecución que permite a la CPU ejecutar hasta 1024 instrucciones binarias en 0.1 ms
- Tipo de configuración del PLC
- Extensión modular
- Funciones integradas
- Herramientas de diagnóstico

## **2.15 Iluminación**

### **2.15.1 Conceptos básicos**

La luz es una forma de radiación electromagnética, que se transmite en el vacío con una velocidad de aproximadamente 300,000 kilómetros por segundo. El ojo humano es capaz de recibir la información lumínica solamente en un rango muy limitado de longitudes de onda, desde 400 nm, hasta 700 nm. Sin embargo, el cuerpo humano si es afectado por las radiaciones invisibles del tipo ultravioleta, que producen ciertos efectos químicos y del infrarrojo, que producen calor.

Al incidir la luz sobre un objeto, este se hace visible por la luz que refleja. Todo objeto absorbe parte de la luz y refleja otra parte, que es la que le da su color característico.

Las lámparas incandescentes, en forma similar al sol, producen una distribución espectral continua, en la que predominan el amarillo y el rojo. Las lámparas fluorescentes, de mercurio, etc., presentan una distribución espectral discontinua de ciertas longitudes de onda limitadas, que dependen del vapor metálico o del recubrimiento utilizado.

La magnitud básica de iluminación, según el sistema SI, es la intensidad luminosa, cuya unidad es la candela. La candela se definió como la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia igual a 540 THz y cuya intensidad energética en esa dirección es 1/683 W por estereorradián.

El efecto de la luz, al incidir sobre una superficie, constituye la iluminación o iluminancia, cuya unidad es el lux, que es la iluminancia producida por el flujo de un lumen al quedar distribuido uniformemente sobre la superficie de 1 m<sup>2</sup>.

### **2.15.2 Leyes de la iluminación**

Coulomb estableció que la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

A su vez, Lambert comprobó que la iluminación era directamente proporcional al coseno del ángulo formado por la perpendicular al plano y la dirección del haz luminoso.

Unificando estas dos leyes, obtenemos:

Ecuación 1:

$$E = \frac{I \times \cos \Theta}{d^2}$$

### **2.15.3 Alumbrado de exteriores**

El alumbrado de exteriores persigue como fin principal la seguridad peatonal y de los edificios, la prevención del crimen así como la promoción del progreso industrial, comercial y cívico.

Los niveles lumínicos adecuados son objeto de recomendaciones muy variables, según las asociaciones profesionales de diferentes países, por lo que, mientras no exista una norma nacional habrá que aplicar el criterio personal.

#### **2.15.4 Factores de clasificación de luminarias exteriores**

Según las normas IES-ANSI, se toman en consideración los siguientes factores en la clasificación de las luminarias:

- Distribución vertical
- Distribución lateral
- Control de la distribución de la luz

#### **2.15.5 Método de diseño de iluminación de exteriores**

Para diseñar un sistema de alumbrado público tenemos que proceder por tanteo, ya que hay demasiadas variables que intervienen en el resultado, algunas variables que se tienen que considerar para el diseño de exteriores son: fijar el nivel medio de iluminación deseado, asumir una distribución y espaciamiento de las lámparas, altura de montaje y tipo de luminarias a utilizar y el factor de mantenimiento y de depreciación.

Con todos estos datos asumidos, se verificó el nivel medio y mínimo por medio del método punto a punto y, según el resultado, se modificó el diseño.

La iluminación en un punto dado, debido a una fuente de luz se puede calcular de la forma siguiente:  $E = \frac{I \times \cos^3 \Theta}{h^2}$  donde I es la intensidad luminosa,  $\Theta$  es el ángulo de montaje de la lámpara y h es la altura de montaje de la lámpara

#### **2.15.6 Alumbrado de interiores**

Existen dos clases de alumbrados: general y complementario o individual. La iluminación general de un ambiente da mayor uniformidad para mantener un nivel muy alto es costoso, por lo que algunas veces se prefiere utilizar el alumbrado

complementario directamente en las áreas de trabajo que requieren el mas alto nivel, alumbrando el resto del ambiente con un nivel mas bajo. Por ejemplo, lámparas de escritorio o de dibujo.

Para obtener un buen alumbrado, hay que tomar en consideración los siguientes factores: nivel lumínico adecuado, uniformidad, ausencia de deslumbramiento y graduación de sombras.

### **2.15.7 Métodos de diseño de alumbrado de interiores**

Los dos métodos de diseño son: método de utilización o de rendimiento y el método de cavidad zonal.

En el método de utilización se usa la fórmula  $RR = \frac{WxL}{H(W + L)}$  para calcular la relación de ambiente. Con los datos de tipo de alumbrado, y la relación de ambiente calculada, se obtiene el coeficiente de utilización y por medio de tablas se busca el valor que coincida con los colores del ambiente que nosotros deseamos. Luego se calcula el flujo luminoso total por medio de  $\Phi_{total} = \frac{ExS}{KxF.M.}$ , el flujo total por lámpara se obtiene dividiendo el flujo total entre el número de lámparas, y finalmente se escogen las lámparas que proporcionen este flujo.

El método de cavidad zonal es el método más moderno, y el recomendado por el IES desde el año de 1964, por considerarse como más preciso que el anterior, el método general de diseño es el mismo, solamente cambia la forma de determinar el coeficiente de utilización K.

Con las dimensiones del ambiente y las alturas de las cavidades zonales respectivas, se determinan las relaciones de cavidad de cielo, ambiente y piso respectivamente.

$$RCA = \frac{5 * Hca * (L + W)}{L * W} \quad RCC = \frac{5 * Hcc * (L + W)}{L * W} \quad RCP = \frac{5 * Hcp * (L + W)}{L + W}$$

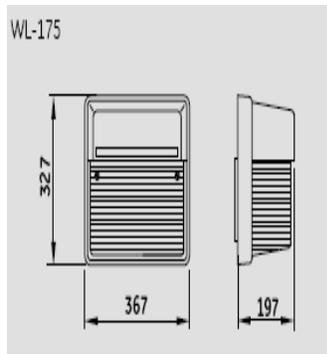
Ya con estos datos podemos encontrar las llamadas reflectancias efectivas del cielo  $P_{cc}$  y la reflectancia efectiva de la cavidad del piso  $P_{cp}$ . El factor de utilización se obtiene por medio de tablas y es definitivo cuando el  $P_{cp}$  es del 20%.

### **2.15.8 Aplicación de los conceptos anteriores para morteros secos**

Para calcular la cantidad de luminarias se utiliza CALCULUX, que es un programa de cálculo de iluminación, con este programa se puede calcular el total de luminarias para un área determinada, el programa utiliza el método de CAVIDAD ZONAL para realizar los cálculos de luminarias interiores y el METODO DE PUNTO A PUNTO para calcular la cantidad de luminarias exteriores. En dicho programa se ingresa el tipo de lámparas a ser usadas, el voltaje a usar, el plano de trabajo, el plano de mantenimiento y el área a ser iluminada, el programa devuelve la cantidad de luminarias a ser usadas para iluminar el área.

Las lámparas que se utilizan en las bodegas del proyecto son HID y de sodio porque son las lámparas más eficientes que existen en el mercado.

**Figura 23. Fotos de tipos de lámparas**



**Lámpara de pared**



**Lámpara de emergencia**



**Lámparas de HID para bodegas**

Fuente: Luxlite, Catálogo de productos

## **2.16 Cálculo de líneas de instalaciones eléctricas**

La corriente eléctrica al pasar por los conductores desde la fuente hasta la carga, causa pérdidas de voltaje y de energía que hay que considerar, a efectos de obtener un servicio eficiente y económico. Para el cálculo eléctrico de las líneas de instalaciones se debe tomar en cuenta varios casos: líneas de corriente directa, líneas de corriente alterna monofásicas y líneas trifásicas.

En las líneas de corriente directa solamente se tiene que considerar la resistencia ohmica de los conductores por lo que su análisis es muy sencillo.

### 2.16.1 Líneas monofásicas de corriente alterna

En las líneas de corriente alterna, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- El incremento de la resistencia efectiva debido al efecto piel.
- El factor de potencia de la carga.
- La reactancia inductiva de los conductores.

La capacitancia así como el efecto corona solamente se toma en cuenta en las líneas de alta tensión.

Para el cálculo de líneas monofásicas se utilizan las siguientes fórmulas

Ecuación 2:

$$e_p = \%erro * V$$

Ecuación 3:

$$I = \frac{W}{E \cos \Phi}$$

Ecuación 4:

$$\frac{Z}{1000m} = \frac{1000e_p}{2 \sum IL}$$

### 2.16.2 Líneas trifásicas

Las líneas trifásicas son las más importantes en la industria. Para el análisis de estas líneas se utilizan las siguientes fórmulas:

Ecuación 5:

$$e_p = \sqrt{3}IZ$$

Ecuación 6:

$$\frac{Z}{1000m} = \frac{1000e_p}{\sqrt{3}IL}$$

## 2.17 Dispositivos de protección en bajo voltaje

Los dispositivos de protección tienen por objeto resguardar la seguridad de la instalación eléctrica, en el caso de sobre tensiones, sobrecargas y cortocircuitos, que pudieran causar incendios u otros daños. En todo circuito, la corriente máxima que pueda circular debe quedar limitada de acuerdo al diseño y capacidad de conducción de corriente de los conductores, en función de la intensidad y del tiempo, ya que el incremento de la temperatura es función de estos dos factores.

Los principales dispositivos de protección son: fusibles, cortacircuitos de caja moldeada, cortacircuitos de aire grandes, y cortacircuitos de potencia, así como los pararrayos.

Los fusibles y cortacircuitos se caracterizan principalmente por: intensidad nominal (corriente que pueden pasar indefinidamente), voltaje máximo del circuito, curva de operación y capacidad de interrupción.

### 2.17.1 Fusibles

Los fusibles se han utilizado desde los inicios de la historia de la electricidad. Básicamente consisten en un elemento metálico que tienen una baja temperatura de fusión, y que al ser atravesado por la corriente, desarrolla una cantidad de calor de acuerdo a la ley de Joule, ocasionando la elevación de la temperatura, y finalmente la

fusión del propio elemento, interrumpiendo así el circuito. Los fusibles se fabrican en muy diversos tipos, desde pequeños fusibles para instrumentos, hasta los de potencia y alta tensión, desde fracción de amperios hasta miles de amperios.

Algunos de estos fusibles se fabrican con elementos renovables, y otros con fijos; con contactos roscados, cilíndricos y de cuchillas de presión. No todos los fusibles especifican su capacidad de interrupción, por lo que hay que ser precavidos en su aplicación.

Los fusibles son de costo bajo, razón por la que muchas veces se prefiere su uso. Sin embargo, se tiene el inconveniente de que son estrictamente monofásicos, y por lo tanto permiten la interrupción en una sola fase, dejando a los motores conectados en el circuito trabajando monofásicamente. Además se corre el peligro de que, por no tener a la mano un elemento de respuesta adecuado, se sustituya por uno de mayor amperaje, y aun por un simple trozo de alambre.

Los fusibles se dividen en dos clases: limitadores y no limitadores de corriente. Los fusibles limitadores actúan en forma extremadamente rápida, limitando la corriente de cortocircuito, y por lo tanto el daño ocasionado al equipo, por lo que se utilizan bastante en la protección de circuitos ramales. Esta limitación se lleva a cabo por un elemento de plata que se vaporiza, introduciéndose este vapor entre pequeñas partículas de arena, donde se condensa. Esto da lugar al arqueado entre las partes fundidas del elemento, estableciéndose una gran caída de potencial a través del arco, que fuerza la anulación de la corriente antes de que esta llegue al máximo disponible.

Los fusibles actúan con mayor velocidad que los cortacircuitos (en altos valores de corriente de falla), lo cual por un lado es una ventaja, pero por el otro lado dificulta su coordinación.

### **2.17.2 Corta circuitos**

Estos elementos se caracterizan por una construcción sólida y amplia, constando de: contactos, mecanismos de operación, interruptor del arco y dispositivos de disparo por sobre corriente graduable.

De los tipos de cortacircuitos que hay se pueden mencionar: los cortacircuitos grandes en aire, los cuales se pueden utilizar ya sean en sistemas selectivos, o en sistemas de protección en cascada. Estos requieren obligadamente que todos los cortacircuitos puedan resistir la corriente máxima de falla correspondiente al punto de su instalación. Los cortacircuitos de caja moldeada, que común mente se les llaman flipones en Guatemala, se distinguen por dimensiones más pequeñas y construcción menos robusta que los anteriores. Los cortocircuitos de potencia, que son utilizados principalmente para la protección primaria de los transformadores. Constan de las mismas partes fundamentales de los otros tipos, pero se distinguen por su estructura fuerte y los mecanismos adicionales requeridos para manipularlos y romper el arco de alta potencia.

### **2.17.3 Coordinación de la protección**

La coordinación de la protección de un sistema implica escoger los dispositivos de manera adecuada, a efecto que disparen en forma selectiva, desconectando solamente el circuito causante de la anomalía. Solamente en el caso de que un dispositivo fallara en su función protectora debería actuar el dispositivo siguiente en la cadena de protección.

Los dispositivos más indicados para efectuar una coordinación precisa son los relevadores, cuyo análisis esta fuera del análisis de este documento.

## 2.18 Sensores o transmisores eléctricos

Los transmisores captan la variable del proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática, electrónica o digital.

La señal neumática es de 3 a 15 PSI adoptada en los Estados Unidos o países de habla inglesa, o de 0.2 a 1 bar empleada en los países que utilizan el sistema métrico decimal.

La señal electrónica normalizada es de 4 a 20 mA de corriente continua, también se utilizan de 1 a 5 mA de c.c., de 10 a 50 mA de c.c. y de 0 a 20 mA de c.c.

La señal digital consiste en una serie de impulsos en forma de bit. Cada bit consiste en dos signos, el 0 y el 1, (código binario) y representa el paso (1) o no (0) de una señal a través de un conductor. Si la señal digital que maneja el microprocesador del transmisor es de 32 bits, entonces puede enviar 32 señales binarias de 0 y 1 simultáneamente.

La evolución de las señales de transmisión hacia la digital, propiciada por la irrupción del microprocesador, ha permitido satisfacer dichas necesidades. Las señales neumáticas y electrónicas se utilizan cada vez menos en beneficio de la señal digital, por las ventajas que esta ofrece en exactitud, en facilidad de comunicaciones y en grabación de la memoria histórica de las variables de proceso. La señal neumática ha quedado prácticamente relegada a su uso en las válvulas de control y en los posicionadores electro-neumáticos y digito-neumáticos.

La exactitud que se consigue con las diferentes señales de transmisión es:

$\pm 0.50\%$  en los neumáticos

± 0.30% en los electrónicos

± 0.15% en los inteligentes con señal de 4 a 20 mA c.c.

± 0.10% en los digitales

### **2.18.1 Transmisores neumáticos**

Los transmisores neumáticos se basan en el sistema tobera obturador que, mediante bloques por retroalimentación por equilibrio de movimiento o de fuerzas, convierte el movimiento del elemento primario de medición a una señal neumática de 3 a 15 psi o bien su equivalente en unidades métricas de 0.2 a 1 bar.

Los transmisores neumáticos, al tener el diámetro de la tobera muy pequeño del orden 0.1 a 0.2 mm, son susceptibles de mal funcionamiento, debido a las partículas de aceite o polvo que pueden tapan la tobera. Este problema de mantenimiento unido al hecho de que no pueden guardar las señales de planta, hace que se utilicen cada vez menos.

### **2.18.2 Transmisores electrónicos**

Basados en detectores de inductancia, o utilizando transformadores diferenciales, o circuitos de puente de Wheatstone, o empleando una barra de equilibrio de fuerzas, convierten la señal de la variable a una señal electrónica de 4 a 20 mA.

### **2.18.3 Transmisores digitales**

Los sensores digitales son aquellos que frente a un estímulo pueden cambiar de estado, ya sea de cero a uno o de uno a cero (hablando en términos de lógica digital) en este caso no existen estados intermedios y los valores de tensión que se obtienen son únicamente dos, 5V y 0V (o valores muy próximos).

#### **2.18.4 Transmisores inteligentes**

Un sensor inteligente es aquel que combina la función de detección y de algunas de las funciones de procesamiento de la señal y de la comunicación. Dado que estas funciones adicionales suele realizarlas un microprocesador, cualquier combinación de sensor y de microprocesador se denomina como sensor inteligente. Un sensor inteligente está basado total o parcialmente, en elementos miniaturizados y con un encapsulado común.

El nivel de complejidad de un sensor inteligente puede ser muy variado, además de la detección o traducción pueden incluir: acondicionamiento de la señal, corrección de cero, ganancia y linealidad, compensación ambiental, escala de conversión de unidades, comunicación digital, autodiagnóstico, decisión e incluso activación sobre el sistema donde se conecta.

Los sensores inteligentes incluyen además del sensor primario, cuando menos un algoritmo de control, memoria y capacidad de comunicación digital.

La repercusión inmediata de los sensores inteligentes en un sistema de medida y control es que reducen la carga, sobre controladores lógicos programables.

#### **2.18.5 Tipos de transmisores**

##### **2.18.5.1 Transmisor capacitivo**

Los transmisores por capacitancia de radio frecuencia (RF) utilizan técnicas de modulación de pulsos de radiofrecuencia con lo que el transmisor convierte la señal del electrodo vertical inmerso en el tanque en una señal de salida de forma de pulso digital de periodo variable. Un microprocesador proporciona la señal de salida de 4 a 20 mA c.c. y el

protocolo opcional Hart permite tener un diagnóstico remoto, cambio de margen de medida, calibración, etc., gracias a la señal digital.

Otros protocolos de comunicación pueden utilizarse también en la transmisión. En la detección de nivel no continuo, un relé se dispara en el momento en que el material supera (o baja) de un punto especificado o cuando una interfase se presenta en un cierto punto del tanque. Sin embargo un recubrimiento conductivo del material sobre el sensor puede dar lugar a falsos disparos del rele cuando el material ha subido e incluso bajado del punto de detección.

La fórmula de la capacitancia del conjunto electrodo-tanque es:

$$C = \frac{\varepsilon \times \kappa \times A}{D}$$

En donde:

C = Es la capacitancia en pico faradios

$\varepsilon$  = Es la constante de permitividad del vacio

$\kappa$  = Es la constante dieléctrica relativa del material

A = Es el área efectiva de los conductores

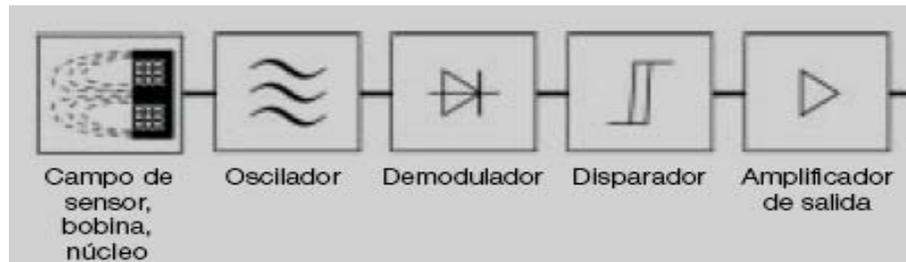
D = Es la distancia entre los conductores

### **2.18.5.2 Transmisor inductivo**

Los detectores de proximidad inductivos se basan en la interacción de conductores metálicos con su campo alterno electromagnético, dentro del material atenuador metálico se inducen corrientes de Foucault que extraen energía del campo y de este modo reducen la altura de la amplitud de oscilación. Esta variación se evalúa en el sensor inductivo que abre o cierra un contacto.

A continuación, se presenta el diagrama de bloques de un transmisor inductivo

Figura 24. **Diagrama de bloque de un transmisor inductivo**



Fuente: Siemens, Catalogo de sensores Bero

A continuación, se presenta una tabla de corrección de materiales atenuadores

Tabla XIV. **Corrección de materiales atenuadores**

<b>M a t e r i a l</b>	<b>F a c t o r</b>
A c e r o	1
C o b r e	0.25 ... . 0.45
L a t o n	0.35 ... . 0.50
A l u m i n i o	0.30 ... . 0.45
A c e r o F i n o	0.60 ... . 1.00
N i q u e l	0.65 ... . 0.75
H i e r r o F u n d i d o	0..95 ... . 1.03

Fuente: Siemens, Catálogo de sensores Bero

### 2.18.5.3 **Transmisor infrarrojo**

Se emplean en muchos sectores técnicos y de la vida cotidiana, en sistemas de control y regulación. Para ello se evalúa una variación de la intensidad de luz en un segmento óptico (entre emisor y receptor) que es producida por un objeto a detectar. En función de las características de este objeto y de la estructura del segmento óptico se interrumpe el haz luminoso o se refleja, o bien se dispersa el mismo. Mayoritariamente

se utilizan como emisores LEDs de luz roja, porque el haz luminoso y el punto de detección pueden captarse visualmente y ajustarse con mayor facilidad. Para las diversas aplicaciones existen las 3 variantes de sensor: detectores fotoeléctricos, barreras fotoeléctricas de reflexión, barreras fotoeléctricas unidireccionales.

En la refracción de la luz, los haces luminosos experimentan un cambio de dirección, es decir, una refracción en la superficie límite de dos medios ópticos con diferentes densidad óptica, grado de refracción depende del cociente de las densidades ópticas  $n$  de ambos medios y del ángulo de incidencia  $\varepsilon$  respecto al eje óptico

$$\text{sen}\varepsilon' = \frac{n * \text{sen}\alpha}{n'}$$

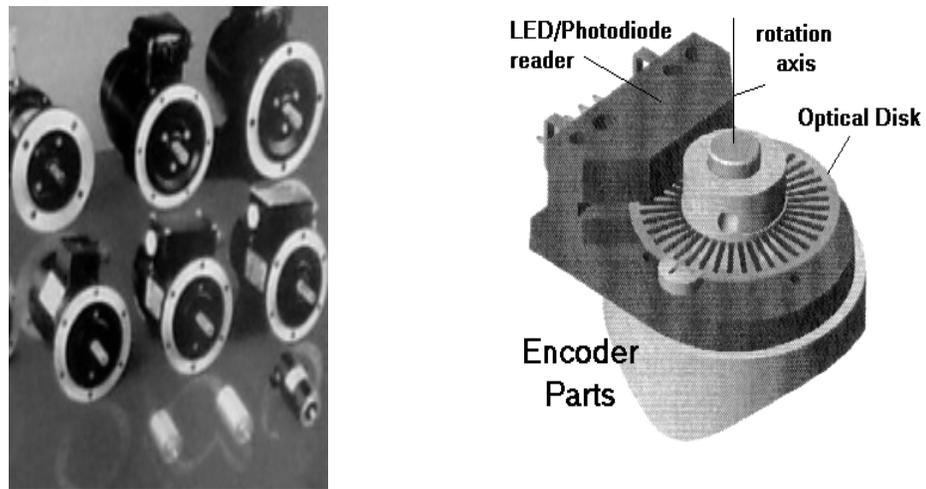
#### 2.18.5.4 Encoder

Los encoders son dispositivos formados por un rotor con uno o varios grupos de bandas opacas y translúcidas alternadas y un estator con una serie de captadores ópticos que detectan la presencia o no de banda opaca. Existen dos tipos de encoders, incrementales y absolutos. Los primeros dan un determinado número de impulsos por vuelta y requieren un contador para determinar la posición a partir de un origen de referencia, los absolutos disponen de varias bandas en el rotor ordenadas según un código binario, y los captadores detectan un código digital completo que es único para cada posición del rotor.

Los encoders incrementales suelen tener una sola banda de marcas repartidas en el disco del rotor y separadas por un paso  $p$ . En el estator disponen de dos pares de emisor-receptor ópticos, decalados un número entero de pasos más  $\frac{1}{4}$  de paso. Al girar el rotor genera una señal cuadrada, el decalaje hace que las señales tengan un desfase de  $\frac{1}{4}$  de periodo si el rotor gira en un sentido y de  $\frac{3}{4}$  si gira en el sentido contrario, lo que se utiliza para discriminar el sentido de giro.

Un simple sistema lógico permite determinar desplazamientos a partir de un origen, a base de contar impulsos de un canal y determinar el sentido de giro a partir del desfase entre los dos canales. Algunos encoders pueden disponer de un canal adicional que genere un pulso por vuelta y la lógica puede dar número de vueltas más fracción de vuelta.

Figura 25. Foto de un encoder



Fuente: Siemens, Catalogo de sensores Bero

#### 2.18.6 Aplicación de conceptos para los sensores de morteros secos

En el proyecto de morteros secos se utilizaron diferentes tipos de sensores, los sensores capacitivos se utilizaron como medidores de nivel de todos los silos del área de sand preparación y de ventomatic.

Los sensores inductivos se utilizaron, casi exclusivamente para medir velocidades de los elevadores de material y como switch de vigilancia.

Los sensores Infrarrojos se utilizaron para las bandas de transporte del área de ventomatic.

El encoder se utilizó para medir velocidad y la posición de la ensacadora de ventomatic, esta máquina saca los sacos de cemento.

Para calcular los niveles máximo y mínimo de los silos truncados se uso la siguiente fórmula:  $V_{total} = \frac{(a+b)*h^2}{4}$  y utilizando las leyes de relaciones, obtuve la distancia a la que se deben colocar los sensores de nivel en la tapadera superior del silo, la fórmula utilizada es:  $\frac{V_{total}}{b} = \frac{\%V}{X}$

Los sensores inductivos se calibraron de la siguiente forma, se mide el diámetro exterior del sensor inductivo, se divide en dos y esa es la distancia a la que debo dejar instalado el sensor del objeto que desea censar, la fórmula es:  $Dis\ tan\ cia = \frac{\phi_{exterior}}{2}$

En los sensores infrarrojos se calibraron el alineamiento entre el emisor y su espejo de reflexión, y también se verificó su zona de operación y sus distancias máximas de trabajo.

### **3. PLAN DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL EN MORTEROS SECOS**

Las razones que justifican la implementación de un plan de seguridad e higiene industrial son:

#### **3.1. Propuesta de un plan de seguridad e higiene industrial en morteros secos**

Por la falta de un plan de seguridad e higiene industrial, pueden ocurrir serios problemas, por ejemplo en un accidente se generan gastos para la empresa por concepto de prestaciones en servicio, prestaciones en dinero, las pérdidas materiales de la empresa y las que sufre el trabajador que se accidenta; es necesario que se implemente un plan.

#### **3.2. Políticas de seguridad e higiene industrial**

Las políticas de seguridad e higiene industrial ayudan a prevenir accidentes que pueden afectar la vida del trabajador en incapacidad o muerte, y que puede dar origen a problemas familiares tales como: desnutrición, enfermedades, vagancia, vicios, delincuencia, divorcio conyugal, analfabetismo, prostitución etc. Así mismo, ayudan a prevenir la destrucción de las instalaciones de la empresa, destrucción de maquinaria o equipo de trabajo, pérdida de materia prima, pérdida de producción, pérdida de tiempo, problemas judiciales etc., para evitar este tipo de problemas, es necesario considerar las políticas de seguridad e higiene industrial en un ambiente de trabajo.

#### **3.3. Normas de seguridad e higiene industrial**

Para evitar muchos problemas de los cuales se han mencionado anteriormente, se deben de tomar en cuenta normas de seguridad e higiene industrial, por ejemplo contar con equipos de protección personal, el orden y limpieza en el trabajo, equipos para

prevenir incendios, cuidados en la manipulación de materiales, considerar el ruido y sus efectos, riesgos eléctricos, contaminación ambiental etc.

### **3.4. Aspectos de seguridad industrial**

En la seguridad industrial se deben considerar los siguientes aspectos:

#### **3.4.1. Plan de minimización de las condiciones inseguras**

Las condiciones inseguras consisten en los peligros que hay en el ambiente de trabajo por ejemplo: equipo defectuoso de trabajo, maquinaria sin guarda, equipo de protección personal inadecuado, área de trabajo sucia, productos y materiales mal acondicionados, falta de protección colectiva etc. Hay muchas más causas las cuales se pueden evitar si se cuenta con un plan para minimizar dichas condiciones.

#### **3.4.2. Plan de minimización de actos inseguros**

Un acto inseguro es toda falla o error humano que provoca accidentes. En otras palabras, es todo acto peligroso o la infracción a las normas de seguridad en el trabajo. Por ejemplo, quitar las guardas protectoras a la maquinaria, destruir los avisos de peligro, trabajar en estado de ebriedad, no usar el equipo de protección personal, etc. Hay muchos más actos inseguros los cuales se pueden minimizar o incluso evitar, al elaborar un plan que tenga por objeto eliminar este tipo de actos.

#### **3.4.3. Señalización**

La señalización es parte de la protección colectiva, en lo cual se utilizan todos los medios para indicar los lugares de peligro dentro de las instalaciones de una empresa.

Entre los procedimientos para la señalización se pueden enunciar los siguientes: rótulos con avisos de peligro, avisos de tránsito de vehículos, etiquetas con símbolos que denoten peligro en ciertos productos, indicaciones con pintura roja de los puntos de peligro, etc.

#### **3.4.4. Seguridad vial**

Hay muchos factores que se deben tomar en cuenta en lo que respecta a la seguridad vial, puesto que si no se toman las precauciones y normas debidas entonces pueden ocurrir accidentes de diferentes magnitudes. Especialmente falta de seguridad vial puede ocasionar caídas y tropezones a los trabajadores; hay factores físicos que pueden originar una caída como lo es la fricción, el momento o impulso y la gravedad.

Una superficie mojada, derrames de sustancias, afecciones del clima como hielo o nieve, pueden causar resbalones o caídas. Para evitarlas se sugiere seguir las siguientes reglas: Asegúrese ver donde camina, no corra al subir o bajar escaleras, mantenga bien iluminadas las áreas de trabajo, mantenga su área de trabajo limpia y ordenada, arregle los muebles de manera que no interfieran en los pasillos ni tránsito peatonal, mantenga cordones de extensión y cables de herramienta fuera de los pasillos.

#### **3.4.5. Equipo contra incendios**

El fuego es un elemento que ha acompañado al hombre desde la antigüedad, el cual es de gran beneficio para la humanidad por sus múltiples usos, siempre y cuando sobre el se tenga un control adecuado y puede ser muy destructivo cuando las condiciones son propicias. Un incendio puede destruir en forma total una empresa e incluso destruir vidas humanas.

Las causas de un incendio pueden ser varias por ejemplo: chispas por fricción, chispas por combustión, chispas eléctricas chispas en soldaduras, instalaciones eléctricas defectuosas, recarga de tomacorrientes, recalentamiento de motores, cerillos y cigarrillos, falta de orden y limpieza, ignición espontánea etc.

Hay tres tipos de incendios, los cuales van a depender del material por el cual se produce este y dependiendo de ello, así va a ser el tipo de extintor que se va a utilizar, por ejemplo: para fuegos tipo A, se van a utilizar extintores de soda ácido, agua a presión, cápsula de gas carbónico y el de espuma. Para fuego tipo B, se van a usar extintores de gas carbónico y polvo químico seco a presión. El extintor TREE-CLASS, o sea el A, B, C, se va a usar para cualquier tipo de fuego. El extintor HALON es automático y se usa en bodegas cerradas donde no hay vigilancias continuas.

Se recomienda lo siguiente para evitar incendios en las empresas: mantener orden y limpieza en el área de trabajo, evitar la fuga de gases y líquidos inflamables, no recargar los tomacorrientes, no operar herramientas eléctricas donde hay gases y líquidos inflamables, desenchufar los aparatos eléctricos después de usarlos, mantenimiento y lubricación adecuada y revisión periódica de todo el equipo, adiestramiento adecuado a los soldadores para que observen las normas establecidas para la soldadura, instruir a las personas que fuman para que lo hagan en los lugares permitidos, evitar el apilamiento de desechos aceitosos, papeles, trapos, basura, echándolos en recipientes tapados.

#### **3.4.6. Equipo de protección personal**

Son todas las prendas de vestir que se utilizan en el trabajo para proteger al trabajador de los peligros de accidentes y de las enfermedades ocupacionales. Según el trabajo que se realiza, así es el riesgo y el tipo de protección personal que se usa. Se han diseñado protectores especiales para cada parte del cuerpo.

### **3.4.7. Botiquín**

El botiquín es algo que se debe tomar en cuenta para que esté a la mano, en caso de cualquier accidente, para prestar los primeros auxilios a una persona necesitada en lo que llega ayuda profesional. Esto puede salvar incluso vidas humanas.

### **3.4.8. Higiene industrial**

Es el arte, ciencia y técnicas de reconocer, evaluar y controlar los agentes ambientales y las tensiones que se originan en el lugar de trabajo y que pueden causar enfermedades, perjuicios a la salud o al bienestar, o incomodidades e ineficiencia entre los trabajadores.

Uno de los objetivos más importantes de la higiene industrial es la prevención de los perjuicios a la salud de los trabajadores por los contaminantes ambientales. Para lograr ese fin es necesario: a) reconocer el riesgo b) estudiar y evaluar el problema c) promover medidas correctivas para eliminar el problema.

Los contaminantes ambientales se clasifican en tres grupos: agentes químicos (gases, partículas o polvos), agentes físicos (ruidos, temperatura, variación de presión, humedad, iluminación etc) y agentes biológicos (bacterias, microbios, parásitos, virus, hongos etc.).

### **3.4.9. Ruido**

Es el sonido o conjunto de sonidos molestos, desagradables y regularmente dañinos al oído. El ruido que más problemas de salud causa, es el que se produce en ambientes de trabajo cerrados y que rebasa los niveles permisibles. Por ejemplo, se

encuentran los talleres mecánicos, plantas industriales, obras en construcción, vehículos motorizados, generadores de energía etc.

Cuando la intensidad del ruido rebasa el nivel permisible, que es de 80 decibeles, se hace necesario adoptar medidas correctivas adecuadas para evitar o disminuir sus efectos en el trabajador. A continuación, se da una lista de ejemplos de niveles sonoros:

**Tabla XV. Niveles de ruido más comunes**

DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DBS
Conversación en voz baja	40 decibeles
Conversación en tono normal	50 a 60 decibeles
Oficina mecanizada	60 a 70 decibeles
Tránsito callejero	90 a 105 decibeles
Bocinas de vehículos a 2 m. de distancia	110 a 115 decibeles
Motor de avión a 3 mts de distancia	120 decibeles
Zona de calderas	125 decibeles
Motor de reacción a chorro	130 decibeles

Fuente: Mbr-design-group

La exposición al ruido puede causar al trabajador trastornos físicos y mentales, entre los que se mencionan los siguientes:

- Sordera ocupacional
- Alteración nerviosa
- Afección al aparato circulatorio
- Descontrol en el equilibrio del cuerpo
- Dolor de cabeza

- Insomnio
- Neurosis

#### **3.4.10. Polvo**

El polvo es otro contaminante ambiental que afecta en la industria. Este factor ambiental afecta la salud del trabajador, puesto que si no se toman las medidas de seguridad adecuadas o no se usan los equipos de protección personal necesarios en medios ambientales contaminados de polvo, con el tiempo van a provocar enfermedades ocupacionales en los trabajadores.

Por otro lado, la contaminación de polvo en la maquinaria, puede provocar un mal desempeño y operación de la misma; por lo cual, se recomienda tomar en consideración el mantenimiento debido para lograr optimizar la producción, reducir los costos por averías, disminuir el gasto por nuevos equipos y maximizar la vida útil de los equipos.

#### **3.4.11. Orden y limpieza**

El orden y la limpieza son normas higiénicas y factores decisivos en la preservación de la salud y prevención de accidentes.

A continuación, se da una lista de normas de orden y limpieza que deben practicarse en el trabajo, para evitar accidentes y enfermedades ocupacionales:

- Guardar los útiles, herramientas y equipos de trabajo en lugares específicos y adecuados
- Mantener los materiales a usarse o de almacenaje bien acondicionados
- Mantener los pasillos y vías de acceso, libres de obstáculos

- Evitar la acumulación de materiales sobrantes e inservibles, como cajas, envases, etc.
- Mantener el local de trabajo pintado, ventilado y con buena iluminación
- Mantener el piso, servicios sanitarios, vestidores, lavamanos y demás dependencias de la empresa, siempre limpios y en buenas condiciones
- Usar depósitos de basura debidamente tapados
- Usar insecticidas para evitar la reproducción de insectos
- Usar desinfectantes para combatir microbios y olores desagradables
- Usar ropa limpia y adecuada al trabajo que se realiza

Al cuidar y poner en práctica las normas anteriormente mencionadas, se obtendrán las siguientes ventajas en el trabajo:

- Se facilita el trabajo
- Se evitan accidentes
- Se evitan incendios
- Se evitan epidemias
- Se trabaja con entusiasmo
- Se garantiza el bienestar personal y el de la familia
- Se contribuye al equilibrio de la empresa y a mantener la fuente de trabajo

## CONCLUSIONES

1. Cuando se protege un transformador de potencia, externamente es protegido con fusibles de potencia, los cuales protegen la red eléctrica, contra corto circuito. Las fallas internas del transformador son proporcionadas por dispositivos internos, como el relé bucholz o los termistores. Las fallas de apertura de cable casi nunca son consideradas.
2. El ahorro energético tiene como finalidad proveer energía al menor costo posible, dar prioridad a las cargas cuya productividad es alta y por último sustituir fuentes energéticas que tengan el menor impacto ambiental y social.
3. Las áreas principales en donde se pueden lograr ahorros energéticos y económicos son: motores eléctricos, iluminación, refrigeración, climatización, procesos térmicos, distribución interna de calor y la electrólisis.
4. El test que se debe realizar a una mufa de media y alta tensión, es la prueba de *High Pot*. Esta prueba tiene como objetivo comprobar el aislamiento y la hechura de la mufa, se realiza con un megaohmetro, con este dispositivo se mide la conductibilidad del aislamiento y fugas de corriente.
5. Para realizar un sistema de tierras, se debe realizar una medición de la resistividad del terreno, con el dato obtenido, se diseña el trazado del sistema de aterrizamiento, dicho diseño debe cumplir con las normas estandarizadas a nivel internacional. En proyectos en donde se utilizan señales electrónicas, se debe tener una puesta a tierra de 5 ohmios. El proyecto de morteros secos, por utilizar

mucha señal electrónica, necesita un aterrizamiento menor o igual a 5 ohmios, para cumplir con la norma internacional y evitar problemas eléctricos en dicho proyecto.

6. El protocolo primario para la comunicación de campo, se selecciona con base en la cantidad de información que se manejará a nivel de señales digitales, señales analógicas y la complejidad del proceso. El protocolo *Device net* se usa para el intercambio de señales que son predominantemente digitales, el protocolo *Profibus* de Siemens se usa para la comunicación entre PLC's maestros y esclavos.
  
7. Para la protección de transformadores menores a 500 KVA, la protección por medio de *Limitamp* y *Multilin*, no es rentable. Para este caso, es más económico proteger con fusibles de potencia. La protección de los transformadores mayores a 500 KVA, la tecnología del *Limitamp* y del *Multilin* es rentable y se justifica su inversión.

## RECOMENDACIONES

1. La administración de la planta de morteros secos debe enfocar su mantenimiento en las áreas de media tensión, automatización y electricidad industrial; se sugiere contratar personal capacitado y con el conocimiento técnico adecuado, para que puedan dar el mantenimiento a estas áreas de trabajo, con el fin de hacer eficiente el proceso industrial, de la planta de morteros secos.
2. El *Multilin* es una tecnología fiable y de bajo mantenimiento. Por lo complejo de la programación, la administración de la planta de morteros secos contratará a un asesor o a un experto, que se hará cargo de la programación y el mantenimiento de este equipo.
3. Dentro de la planta de morteros secos, existe mucho equipo eléctrico que no se encuentra en *stock* en el mercado local. La administración contrató a personal experimentado en el área de compras internacionales e instaló un programa de mantenimiento (SAP), que se encarga de llevar el control de respuestos y de inventario, con el fin de mantener una existencia, de los dispositivos críticos que puedan producir un paro total de la planta y crear pérdidas a la misma.
4. El diagrama de flujo y de cableado debe utilizarse como una herramienta valiosa en la localización de fallas eléctricas dentro de la planta. El darle un buen uso a esta herramienta redundará en la eficiencia del proceso de morteros secos, es por ello que se hace necesario contratar a personal calificado, que sepa usar dicha herramienta. Además se debe dar capacitaciones de campo, a las personas que trabajarán en la planta de morteros secos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BEEMAN, Donald. *Industrial Power Systems Handbook*. Estados Unidos: McGraw Hill, 1995.
2. EARLEY, Mark W y otros. *National Electrical Code Handbook*. 10ª ed. Estados Unidos: *National Fire Protection Association*. 2005.
3. HARPER, Enrique. *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. 2ª ed. México: *Limusa*, 2005.
4. HARPER, Enrique. *El ABC de las Instalaciones Eléctricas*. México: *Limusa*, 2005.
5. INSTITUTE of Electrical and Electronics Engineers. *Electric Systems for Commercial Buildings*. Estados Unidos, 1991.
6. INSTITUTE of Electrical and Electronics Engineers. *Recommended Practice for grounding of Industrial and Commercial Power System*. Estados Unidos, 2006.
7. KOENIGSBERGER, Rodolfo. *Instalaciones Eléctricas 1*. 2ª ed. Guatemala: s.e., 1994

8. MARTÍN, José Raúl. *Diseño de subestaciones eléctricas*. 2ª ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 1992
9. Mason C. Rusell. *El Arte y la Ciencia de la Protección por Relevadores*. 10ª ed. México: Continental, 1982
10. ROBIN, Stephen. *Administración, Teoría y Práctica*. 4ª ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1994
11. VIQUEIRA, Jacinto. *Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería*, Vol. I y II. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería. 1970

## **ANEXOS**

Datum: 08.02.02  
Date

SIEMENS AG  
A&D PT 2  
Gleiwitzer Straße 555  
D - 90475 Nürnberg Moorenbrunn

## Bescheinigung Certification

Produktbezeichnung: SIEMENS SIMATIC NET PROFIBUS FC Standard Cable  
Ordering data

Bestellnummer: 6XV1830-0EH10  
Order No.

Vorgenanntes Produkt entspricht den Aufbau- und Prüfvorschriften  
The above mentioned product complies with the construction and the test specifications

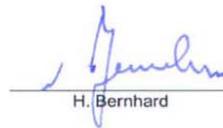
nach:  
according to

- UL-File E119100 Vol.1, Sec.8, Page 1
- Flammwidrig gem. IEEE bzw. DIN VDE 0472, Teil 804, Prüftart C  
*Flame retardant acc. to IEEE and DIN VDE 0472 T804 C test type resp.*
- EN 50170
- Die Leitung ist silikonfrei  
*The cable ist free of silicone*

SIEMENS Aktiengesellschaft



E. Kuk



H. Bernhard

Special Products, Training,  
Projects Automotive Industrie

Leitung des Geschäftsgebietes:  
Dr. Rainer Besold

Bereichsvorstand  
Automation and Drives:  
Helmut Gierse, Vorsitzender  
A. S. Huber  
A. Ötsch

Briefadresse:  
Siemens AG  
A&D PT  
Postfach 4848  
D-90327 Nürnberg

Hausadresse:  
Moorenbrunn  
Gleiwitzer Str. 555  
D-90475 Nürnberg  
Telefon (0911) 895-0  
Fax (0911) 895-2063

Siemens Aktiengesellschaft - Vorsitzender des Aufsichtsrats: Karl-Hermann Baumann - Vorstand: Heinrich v. Pierer, Vorsitzender - Mitglieder: Volker Jung, Edward G. Krubasik, Rudi Lamprecht, Heinz-Joachim Neubürger, Peter Pribilla, Jürgen Rasdowski, Erich R. Reinhardt, Uriel J. Sharef, Claus Weyrich, Klaus Wucherer  
Sitz der Gesellschaft: Berlin und München - Registergericht: Berlin-Charlottenburg, HRB 12300, München, HRB 6684

(scf\_ext.dot 3.34 2000-05 A&D OIT I:\USER\Kasper\Zertifikate\Bescheinigungen\FC Standard Cable.doc)

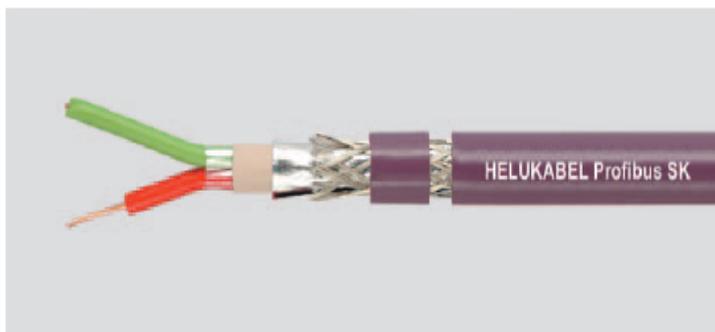
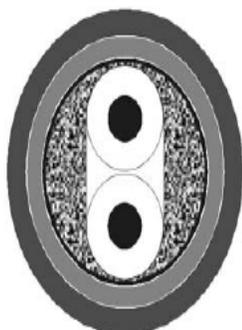
Seite 1 von 1

## DATOS TÉCNICOS DEL CABLE PROFIBUS

# BUS Cables



Profibus SK Indoor + Outdoor



### Electrical data

Characteristic impedance:	150 Ohm $\pm$ 10 %	150 Ohm $\pm$ 10 %
Conductor resistance:	57,1 Ohm/km max.	57,1 Ohm/km max.
Insulation resistance:	1,0 GOhm x km min.	1,0 GOhm x km min.
Mutual capacitance:	35,0 nF/km nom.	35,0 nF/km nom.
Test voltage:	1,5 kV	1,5 kV
Attenuation:	9,6 kHz < 2,5 dB/km	9,6 kHz < 2,5 dB/km
	38,4 kHz < 4,0 dB/km	38,4 kHz < 4,0 dB/km
	4,0 MHz < 22,0 dB/km	4 MHz < 22,0 dB/km
	16,0 MHz < 42,0 dB/km	16 MHz < 42,0 dB/km

### Norms

Applicable standards:	Profibus acc. to DIN 19245 T3 and EN50170	Profibus acc. to DIN 19245 T3 and EN50170
UL Style:	UL Style 2571	-

### Application

The application of these Profibus SK cables are in the cell and field area, just as for conventional types. The great advantage of this new system is the quick connection of the cable to the respective plugs. This type of processing also avoids errors. The above mentioned types are suitable for indoor- or outdoor installation and are equipped with a special PVC or PE sheath.

### Part no.

**81903**, Profibus SK

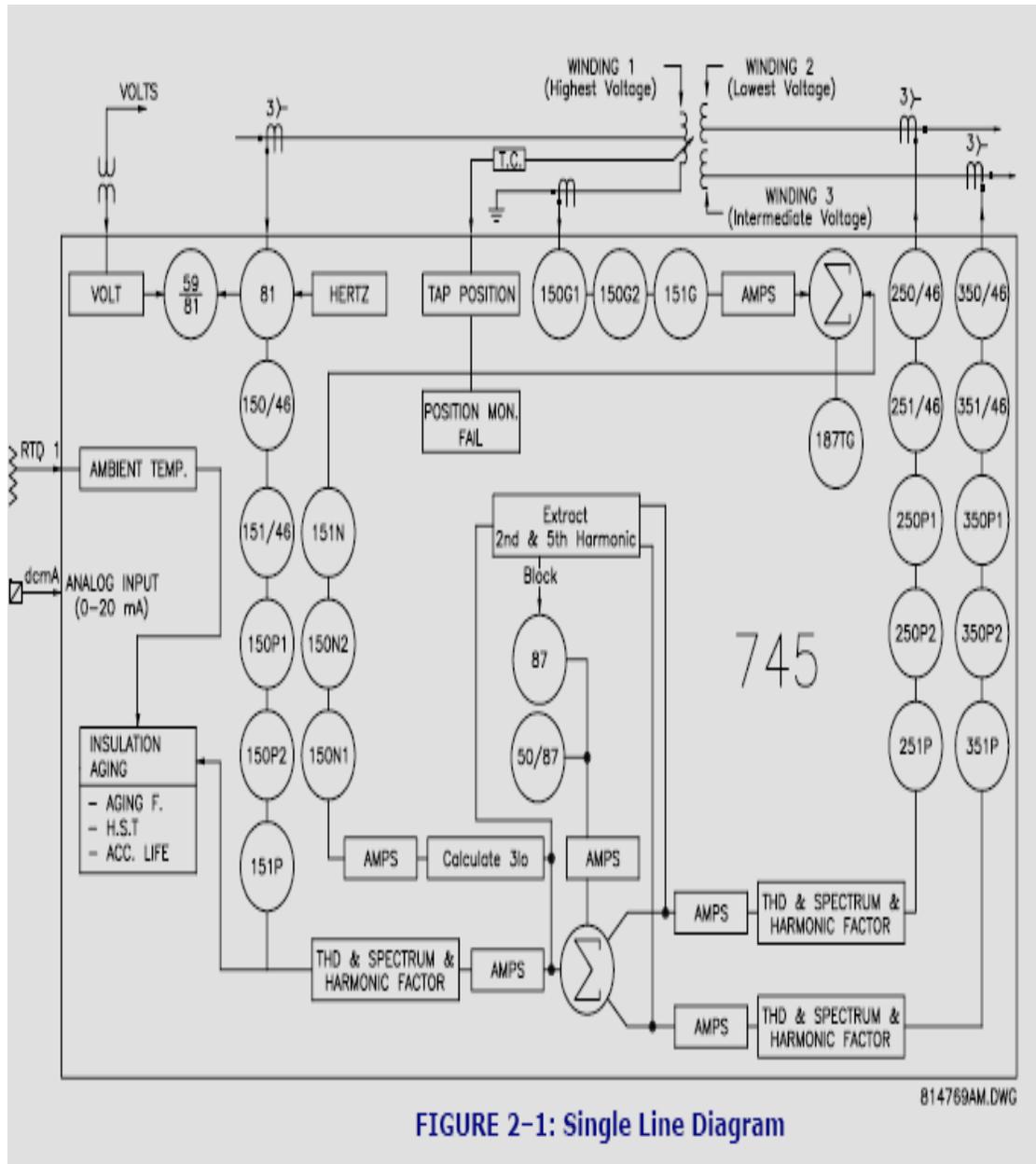
**81904**, Profibus SK

## TABLA DE RECEPCIÓN DEL TRANSFORMADOR

<b>CARLOS GRIJALVA</b> <a href="mailto:cegrijalvach@yahoo.com">cegrijalvach@yahoo.com</a>		<b>RECEPCION DE TRANSFORMADORES.</b>						
		<b>INVENTARIO DE ESTADO DEL TRANSFORMADOR</b>						
Fecha:			Realizado por:					
Cliente:			Contrato No.:		Cotización No.:			
<b>1. CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>								
kVA		Marca:			No. Fases			
Voltaje Prim		No. Fabricac:			Monofasico	Trifasico		
Voltaje Sec.		Año Fabric.						
Refrigerac.		Tipo:	Conv:	Autop:				
<b>2. ESTADO EXTERIOR</b>								
<b>1.1 Accesorios</b>								
<b>1.1.1 Aisladores</b>		<b>Primarios</b>	<b>Secundarios</b>	<b>1.1.2 Herrajes</b>		<b>Primarios</b>	<b>Secundarios</b>	
	<b>Rotos</b>	(1)	(5)		<b>Rotos</b>	(9)	(13)	
	<b>Quemados</b>	(2)	(6)		<b>Torcidos</b>	(10)	(14)	
	<b>Contaminados</b>	(3)	(7)		<b>Quemados</b>	(11)	(15)	
	<b>Faltan</b>	(4)	(8)		<b>Faltan</b>	(12)	(16)	
<b>1.1.3 Empaques</b>		<b>Primarios</b>	<b>Secundarios</b>	<b>Tapa</b>	<b>Nivel</b>	<b>Conmutador</b>		
	<b>Quemados</b>	(17)	(21)	(25)	(29)	(33)		
	<b>Cristalizados</b>	(18)	(22)	(26)	(30)	(34)		
	<b>Defectuoso</b>	(19)	(23)	(27)	(31)	(35)		
	<b>Faltan</b>	(20)	(24)	(28)	(32)	(36)		
<b>1.1.4 Otros</b>		<b>Breaker</b>	<b>Registro</b>	<b>Explosores</b>	<b>Bombilo Aut.</b>			
	<b>Defectuoso</b>	(37)	(39)	(41)	(43)			
	<b>Falta</b>	(38)	(40)	(42)	(44)			
<b>1.2 Tanque</b>		<b>Sold. Defect.</b>	<b>Inflado</b>	<b>Roto/golpe</b>	<b>Abollado</b>	<b>Explotado</b>	<b>Oxidado</b>	<b>Roto/bala</b>
	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(50)	(51)	
<b>2. ESTADO INTERIOR</b>								
<b>2.1 Conexiones internas</b>		<b>Primario</b>	<b>Secundario</b>	<b>2.2 Núcleo</b>		<b>Quemado</b>	<b>Oxidado</b>	<b>Desajustado</b>
	<b>Sueltas</b>	(51)	(56)			(60)	(61)	(62)
	<b>Quemadas</b>	(53)	(57)					
	<b>Sin aislamient.</b>	(54)	(58)					
	<b>Aisl. Deteriord.</b>	(55)	(59)					
<b>2.3 Bobinado</b>		<b>Primario</b>	<b>Secundario</b>	<b>2.4 Aceite</b>		<b>Quemado</b>	<b>Bajo nivel</b>	<b>Con agua</b>
	<b>Quemado</b>	(63)	(67)			(71)	(72)	(73)
	<b>Recalentado</b>	(64)	(68)					
	<b>Abierto</b>	(65)	(69)					
	<b>Corrido</b>	(66)	(70)					
<b>2.5 Otros</b>		<b>Breaker</b>	<b>Prensas</b>	<b>Conmutador</b>	<b>Pantallas ais</b>	<b>Cierre taq def</b>		
	<b>Sin</b>	(74)	(76)	(78)	(80)	(82)		
	<b>Averiado</b>	(75)	(77)	(79)	(81)			
<b>3. CAUSAL DE FALLA</b>		<b>Especificac.</b>	<b>Diseño</b>	<b>Fabricación</b>	<b>Bodegaje</b>	<b>Transporte</b>	<b>Montaje</b>	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		
	<b>Operación</b>	<b>Sob/tensión</b>	<b>Sob/carga</b>	<b>Vandalismo</b>	<b>Desconocids</b>	<b>Acc. Med. A.</b>		
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)		
	<b>Acc. Tránsito</b>	<b>Acc. Med A.</b>	<b>Corto sal BT</b>	<b>Corto red BT</b>	<b>Corto MT</b>			
	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)			



## DIAGRAMA DE BLOQUE DE UN MULTILIN



**FIGURE 2-1: Single Line Diagram**

## TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL MULTILIN

### Specifications

#### Applicability

Transformers: 2 Winding or 3 Winding  
 Frequency: 50 or 60 Hz nominal  
 (frequency tracking allows  
 operation from 2 to 65 Hz)

#### Inputs

##### CONTROL POWER

Options: LO/HI (specified when ordering)  
 LO range: 20 to 60 V DC;  
 20 to 48 V AC at 48 to 62 Hz  
 HI range: 90 to 300 V DC;  
 70 to 265 V AC at 48 to 62 Hz  
 Power: 30 VA nominal, 40 VA max.  
 Fuse (not accessible)  
 Current Rating: 3.15 A  
 Type: 5 × 20 mm Slow-Blow  
 Littelfuse, High Breaking  
 Capacity; Model # 2153.15

##### PHASE CURRENT INPUT

Source CT: 1 to 50000 A primary  
 1 or 5 A secondary  
 Relay input: 1 A or 5 A (specified at order)  
 Burden: Less than 0.2 VA at rated load  
 per phase  
 Conversion range: 0.02 to 46 × CT  
 Accuracy:  
 at < 4 × CT: ±0.25% of 4 × CT (±0.01 × CT)  
 at ≥ 4 × CT: ±0.5% of 46 × CT (±0.2 × CT)  
 Overload withstand: 1 second at 80 times  
 rated current; 2 seconds at 40  
 times rated current;  
 continuous at 3 times rated  
 current

##### GROUND CURRENT INPUT

Source CT: 1 to 50000 A primary  
 1 or 5 A secondary  
 Relay input: 1 A or 5 A (specified at order)  
 Burden: less than 0.2 VA at rated load  
 Conversion range: 0.02 to 46 × CT  
 Accuracy:  
 at < 4 × CT: ±0.25% of 4 × CT (±0.01 × CT)  
 at ≥ 4 × CT: ±0.5% of 46 × CT (±0.2 × CT)  
 Overload Withstand: 1 second at 80 times  
 rated current; 2 seconds at 40  
 times rated current;  
 continuous at 3 times rated  
 current

##### VOLTAGE INPUTS

Source VT: 2 to 600 kV / 60 to 120 V  
 Source VT ratio: 1 to 5000 in steps of 1  
 Relay Input: 60 V to 120 V phase-neutral  
 Burden: Less than 0.025 VA at 120 V  
 Max. continuous: 273 V  
 Accuracy: ±1% of 2 × VT (±0.02 × VT)

##### LOGIC INPUTS

Number of inputs: 16  
 Dry contacts: 1000 Ω maximum ON  
 resistance (32 V DC at 2 mA  
 provided by the 745)  
 Wet contacts: 30 to 300 V DC at 1.5 mA

##### ANALOG INPUT

Type: DC mA  
 Ranges: 0 to 1 mA, 0 to 5 mA, 0 to 10  
 mA, 0 to 20 mA, 4 to 20 mA  
 (programmable)  
 Input impedance: 375 Ω ±10%  
 Conversion range: 0 to 21 mA  
 Accuracy: ±1% of full scale (based on  
 input range)

##### TAP POSITION

Type: resistance (ohms)  
 Range: 0 to 500 Ω or 0.5 to 5.0 kΩ  
 Bias current: 1 mA or 10 mA (based on  
 input range)  
 Accuracy: ±1% of full scale (based on  
 input range)

##### RTD

Type: 3 wire  
 RTD Type 100 Ω Platinum (DIN.43760),  
 100 Ω Nickel, 120 Ω Nickel

##### IRIG-B INPUT

Amplitude-modulated: 1.0 to 10 V pk-pk  
 DC shift: TTL  
 Input impedance: 70 to 100 kΩ