



## TÍTULO DEL PROYECTO O TESIS:

# INTEGRACIÓN ELÉCTRICA DEL MOTOR DEL COMPRESOR DE AIRE K-101F DE LA PLANTA DE FUERZA Y SERVICIOS PRINCIPALES DE LA REFINERÍA ING. ANTONIO DOVALI JAIME.

## OPCIÓN I.

### TESIS PROFESIONAL

## PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

### INGENIERO ELÉCTRICO

## PRESENTA:

### CARLOS ALBERTO MÉNDEZ REY

HEROICA CIUDAD DE JUCHITAN DE ZARAGOZA, OAXACA, NOVIEMBRE 2023.





Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza, Oax. 25 - Octubre - 2023

**DEPTO.: DIV. DE ESTUDIOS PROFESIONALES.  
No. DE OFICIO DEP-130/23**

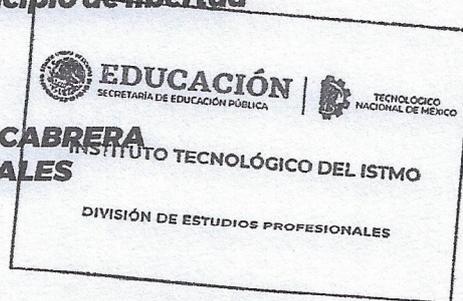
**ASUNTO: Se autoriza Impresión de  
Trabajo Profesional.**

**C. CARLOS ALBERTO MÉNDEZ REY  
PASANTE DE LA CARRERA DE  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
P R E S E N T E.**

De acuerdo con el reglamento de Titulación y habiendo cumplido con todos los requisitos e indicaciones que la Comisión Revisora le hizo con respecto a su Trabajo Profesional, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le autoriza la impresión del mismo, cuyo tema es: **INTEGRACIÓN ELECTRICA DEL MOTOR DEL COMPRESOR DE AIRE K-101F DE LA PLANTA DE FUERZA Y SERVICIOS PRINCIPALES DE LA REFINERIA ING. ANTONIO DOVALI JAIME.**

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*"Por una tecnología propia como principio de libertad"*

**LIC. MARIA DE LOS ANGELES CELAYA CABRERA**  
**JEFA DE LA DIV. DE ESTS. PROFESIONALES**



C.c.p. Coordinación de Titulación

MA/CC/MCLP/cgb



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme salud y por iluminar mi camino durante todos los días de mi vida, por darme la oportunidad de estudiar una carrera profesional para bien de mi futuro, a todas aquellas personas que me dan palabras de alientos y me aconsejan para poder llegar a concluir esta meta.

Agradezco en especial a mis padres por su amor y apoyo económico y moral en todos los aspectos de mi vida que ha sido fundamental para poder llevar a cabo esta meta.

A mis familiares, compañeros de escuela y de mi vida, que me han ayudado de una u otra manera a lograr mi meta y de quienes me han enseñado de sus experiencias, de quienes he aprendido a valorar la amistad.

A todas a esas personas quiero darles las gracias en especial y espero algún día pagarles lo poco o mucho de su ayuda que me han brindado sin interés alguno.

# CONTENIDO

NOTACIÓN /ACRÓNIMOS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE ECUACIONES.....	x
LISTA DE TABLAS .....	xi
RESUMEN.....	xii

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN .....	14
1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS .....	15
1.2.1 OBJETIVO PARTICULAR.....	16
1.3 DESCRIPCION DE LA EMPRESA .....	17
1.3.1 POLITICAS DE LA EMPRESA .....	17
1.3.2 FILOSOFIA DE MANTIMIENTO.....	18
1.3.3 FUNCIÓN DEL TALLER ELÉCTRICO .....	19
1.4 PROBLEMAS A RESOLVER .....	21
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	22
1.6 ESTRUCTURA DEL REPORTE.....	23

## CAPÍTULO II MOTOR SÍNCRONO

2.1 MOTOR SÍNCRONO .....	25
2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR SÍNCRONO .....	25
2.3 VELOCIDAD .....	27
2.4 INDUCTOR E INDUCIDO .....	28
2.5 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MOTOR.....	28
2.5.1 CARCASA .....	28
2.5.2 BASE .....	29
2.5.3 CAJA DE CONEXIONES .....	29
2.5.4 COJINETES.....	29
2.5.5 ROTOR.....	29
2.5.6 ESTATOR .....	32
2.6 ARRANQUE DE LOS MOTORES SÍNCRONOS.....	32
2.6.1 ARRANQUE DE UN MOTOR SÍNCRONO CON CARGA.....	33
2.6.2 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR SÍNCRONO.....	34
2.7 LUBRICACIÓN DE LOS MOTORES .....	35
2.7.1 LUBRICACIÓN CON ACEITE DEL MOTOR ELÉCTRICO .....	35
2.7.2 LUBRICACIÓN CON GRASA DEL MOTOR.....	36
2.8 LUBRICACIÓN DE COPLES .....	36

**CAPÍTULO III**  
**COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL, CABLES ALIMENTADORES DE**  
**MEDIA TENSIÓN Y PRUEBAS ELECTRICAS.**

3.1 ANTECEDENTES DE LOS CENTROS DE CONTROL DE MOTORES.....	38
3.2 PRINCIPIOS GENERALES SOBRE CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS .....	38
3.3 PROPÓSITO DEL CONTROLADOR .....	39
3.4 DIFERENCIA ENTRE UN CONTROL AUTOMÁTICO Y UN MANUAL.....	39
3.5 SIMBOLOGÍA .....	40
3.6 ARRANCADORES .....	41
3.6.1 ARRANCADOR A TENSIÓN PLENA .....	41
3.6.2 ARRANCADOR REVERSIBLE.....	41
3.6.3 ARRANCADOR ESTRELLA-TRIANGULÓ.....	42
3.6.4 ARRANCADOR DE RESISTENCIA.....	43
3.6.5 ARRANCADOR MAGNÉTICO .....	43
3.7 RELEVADORES DE SOBRE CARGA.....	43
3.7.1 RELEVADOR SEL 701. ....	45
3.8 PROTECCIÓN FALLA A TIERRA .....	49
3.9 TRANSFORMADOR DE INSTRUMENTACIÓN .....	49
3.9.1 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.....	50
3.9.2 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL .....	54
3.10 TRANSFORMADOR DE CONTROL .....	57
3.11 CABLES ALIMENTADORES DE MEDIA TENSION .....	58
3.11.1 EMPALMES Y TERMINALES TERMORRETRÁCTILES .....	60
3.11.2 INSTALACIÓN .....	60
3.11.3 PROCESO DE INSTALACION DE TERMINAL DE INTERIOR EN FRIO.....	61
3.11.4 PROCESO DE INSTALACION DE UN EMPALME EN FRÍO .....	62

**CAPÍTULO IV**

**“INTEGRACIÓN ELÉCTRICA DEL MOTOR DEL COMPRESOR DE AIRE K-101f DE LA**  
**PLANTA DE FUERZA Y SERVICIOS PRINCIPALES DE LA REFINERÍA “ING. ANTONIO**  
**DOVALÍ JAIME”**

4.1 MONTAJE DE LA UNIDAD BÁSICA SEL 701 .....	66
4.2 PUESTA EN SERVICIO DEL SEL 701.....	67
4.2.1 SEL-701PC SOFTWARE .....	68
4.2.2 REQUISITOS DEL SISTEMA .....	68
4.2.3 INSTALACIÓN DEL PROGRAMA .....	68
4.2.4 ALIMENTACIÓN DEL RELEVADOR SEL-701.....	68
4.2.5 CONEXIÓN DEL CHASIS A TIERRA DEL RELEVADOR SEL-701 .....	69
4.2.6 ENTRADAS DEL TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD .....	69
4.2.7 ENTRADAS DE CORRIENTE Y TIERRA DEL TRANSFORMADOR AL RELEVADOR SEL-701 .....	71
4.2.8 SALIDAS DE CONTACTOS .....	72
4.2.9 ENTRADAS DE CONTACTOS .....	74
4.2.10 SALIDA ANALÓGICA.....	75

4.2.11	CONEXIÓN INTERNA DE RTD .....	75
4.3	MONTAJE DE LOS CABLES ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN .....	76
4.3.1	CALCULO DE TENSIÓN DE JALADO.....	78
4.3.2	EFFECTO CALORÍFICOS DE LA CORRIENTE LEY DE JOULE.....	79
4.4	PRUEBAS DE ACEPTACION A LOS CABLES ALIMENTADORES .....	79
4.4.1	MÉTODOS DE PRUEBAS Y DIAGNOSTICO PARA CABLES DE MEDIA TENSIÓN .....	80
4.4.2	PRUEBA DE TANGENTE DE DELTA A BAJA FRECUENCIA .....	80
4.4.3	PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES A BAJA FRECUENCIA .....	82
4.4.4	CORRIENTE DE FUGA Y ENSAYO DE CUBIERTA EN C.C. ....	82
4.4.5	PRUEBAS A CABLES DE MEDIANA TENSIÓN CON TECNOLOGIA VLF .....	83
4.5	PRUEBAS REALIZADAS AL ARRANCADOR DEL MOTOR K-101F.....	84
4.5.1	PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS A INTERRUPTOR.....	84
4.5.2	PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A INTERRUPTOR .....	86
4.5.3	PRUEBA DE LA UNIDAD DE DISPARO .....	87
4.5.4	PRUEBA DE INTERRUPTOR CON MULTI-AMP.....	90
4.5.5	REPORTE DE PRUEBAS REALIZADAS AL ARRANCADOR .....	92
4.6	PRUEBAS DE CONFIABILIDAD AL MOTOR K-101F. ....	93
4.6.1	PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO .....	93
4.6.2	PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACIÓN .....	95
4.6.3	PRUEBA DE RESISTENCIA ÓHMICA .....	95
4.6.4	MCE (EVALUADOR CIRCUITOS DE MOTORES) MCE-PDMA .....	96
4.6.5	REPORTE DE PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR K-101F .....	97
4.7	PUESTA EN SERVICIO DE LA CONEXIÓN A TIERRA .....	98
4.8	CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTES (TC's) .....	98
4.9	INSTALACIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (TP's).....	99
4.10	ENERGIZACIÓN DEL MOTOR.....	99
	CONCLUSIÓN.....	100
	REFERENCIA.....	101

## NOTACIONES Y/O ACRÓNIMOS

### NOTACIONES

<b>Amp.</b>	Ampere
<b>C.A.</b>	Corriente alterna
<b>C.c.</b>	Corriente continúa
<b>Cos</b>	Coseno
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>F</b>	Frecuencia
<b>Fm</b>	Fuerza máxima equivalente
<b>Fe</b>	Fuerza magnetomotriz del estator.
<b>Fr</b>	Fuerza magnetomotriz del rotor
<b>Hz</b>	Hertz
<b>M</b>	Metros
<b>P</b>	Polos
<b>Sen</b>	Seno
<b>Ω</b>	Ohm
<b>Θ</b>	Angulo de posición
<b>KT</b>	Constante del diseño de la maquina síncrono
<b>Rpm</b>	Revoluciones por minutos
<b>φ</b>	Angulo entre las fuerzas magneto motrices del estator y rotor
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>Hz</b>	Frecuencia
<b>UL</b>	Underwriters Laboratories (Laboratorio de aseguradores).
<b>Vp</b>	Voltaje de Fase
<b>Egp</b>	Tensión Generada
<b>I<sub>A</sub></b>	Corriente sincronizante
<b>E<sub>R</sub></b>	Tensión Resultante
<b>Z<sub>P</sub></b>	Impedancia por Fase
<b>R<sub>A</sub></b>	Resistencia Efectiva del Inducido
<b>X<sub>s</sub></b>	Reactancia Síncrona
<b>β</b>	Grados Geometricos
<b>EFP</b>	Efecto Factor de Potencia
<b>α</b>	Efecto Valor de Angulo

## ACRÓNIMOS

<b>ANSI</b>	American National Standard Institute
<b>AWG</b>	American Wire Gauge(Calibre Americano de Conductores).
<b>CSA</b>	Canadian Standards Association
<b>F.E.M.</b>	Fuerza electromotriz
<b>HP</b>	Horse Power (Caballos de Potencia)
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IHM</b>	Interfaz Hombre Máquina
<b>MT</b>	Media tensión
<b>NEMA</b>	National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos).
<b>SEPAM</b>	Sistema Electrónico de Protección, Automatización y Medición
<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos
<b>PC</b>	Computadora personal (personal computer)
<b>PLC</b>	(Programable Logic Control). Control Lógico programable
<b>TC'S</b>	Transformador de corrientes
<b>TP'S</b>	Transformador de potenciales
<b>UL</b>	Underwriters Laboratories (Laboratorio de aseguradores).
<b>VA'S</b>	Volts- ampere
<b>Vc.a.</b>	Voltaje de corriente alterna
<b>SEL</b>	Schweitzer Engineering Laboratories

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1</b>	PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO .....	26
<b>FIGURA 2.2</b>	CARACTERÍSTICA TORQUE VELOCIDAD DEL MOTOR SÍNCRONO .....	27
<b>FIGURA 2.3</b>	PARTES DE UN ROTOR TIPO JAULA DE ARDILLA .....	30
<b>FIGURA 2.4</b>	ROTOR BOBINADO O DE ANILLOS ROZANTES .....	30
<b>FIGURA 2.5</b>	ROTORES DE MAQUINA SÍNCRONA .....	31
<b>FIGURA 2.6</b>	BARRAS AMORTIGUADORAS EN MOTOR SÍNCRONO .....	31
<b>FIGURA 2.7</b>	DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL MOTOR SÍNCRONO CON AMORTIGUADO DEVANADO (ROTOR SIMPLEX) .....	33
<b>FIGURA 2.8</b>	RELACIÓN ENTRE LA TENSIÓN GENERADA DEL MOTOR SINCRONO Y TENSIÓN DE BARRAS DESPUES DE LA SINCRONIZACIÓN A LAS BARRAS DE VACIO .....	34
<b>FIGURA 2.9</b>	VALVULA MACHO DEL TIPO DE ALTA TENSIÓN CON SISTEMA INDIVIDUAL.....	36
<b>FIGURA 2.10</b>	COJINETE LISO DE LUBRICACIÓN POR ANILLO .....	36
<b>FIGURA 2.11</b>	RODAMIENTO A BOLAS LUBRICANDO POR BAÑO DE ACEITE.....	36
<b>FIGURA 2.12</b>	COPELE DE REJILLA .....	36
<b>FIGURA 3.1</b>	DIAGRAMA DE UN ARRANCADOR REVERSIBLE .....	42
<b>FIGURA 3.2</b>	DIAGRAMA DE ARRANCADOR ESTRELLA TRIANGULO .....	42
<b>FIGURA 3.3</b>	ARRANCADOR DE RESISTENCIA .....	43
<b>FIGURA 3.4</b>	CARACTERISTICAS DE PANEL FRONTAL DE RELEVADOR SEL-701.....	46
<b>FIGURA 3.5</b>	CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN TC .....	50
<b>FIGURA 3.6</b>	CONEXIÓN TRIFASICA DEL TC.....	54
<b>FIGURA 3.7</b>	CONEXIÓN DEL TC CON HILO NEUTRO .....	54
<b>FIGURA 3.8</b>	CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN TP.....	55
<b>FIGURA 3.9</b>	CARACTERISTICAS DEL COONDUCTOR .....	59
<b>FIGURA 3.10</b>	ILUSTRACIÓN DE LAS TERMINALES DE UN CONDUCTOR.....	62
<b>FIGURA 3.11</b>	EMPALME DE CONDUCTOR .....	62
<b>FIGURA 3.12</b>	ILUSTRACIÓN DE CORTE DE LA CUBIERTA.....	63
<b>FIGURA 3.13</b>	ILUSTRACIÓN DE LAS UNIONES DE LOS CONDUCTORES .....	63
<b>FIGURA 3.14</b>	POSICIÓN DEL CUERPO DEL CONDUCTOR.....	63
<b>FIGURA 3.15</b>	EMPALMADO DEL CONDUCTOR.....	64
<b>FIGURA 4.1</b>	MONTAJE DEL PANEL EN EL CHASIS .....	66
<b>FIGURA 4.2</b>	ILUSTRACIÓN DEL MONTAJE DEL RELEVADOR SEL-701 .....	66
<b>FIGURA 4.3</b>	TERMINALES DE CONEXIÓN A TIERRA DEL CHASIS.....	69
<b>FIGURA 4.4</b>	DIAGRAMA DE CABLEADO, VOLTAJES Y CORRIENTES EN CONEXIÓN DELTA ABIERTA .....	70
<b>FIGURA 4.5</b>	DIAGRAMA DE CABLEADO DE TENSIÓN DE FASE A FASE UNICA.....	70
<b>FIGURA 4.6</b>	CONEXIÓN DE TC UTILIZANDO LA CONEXIÓN A TIERRA TOMANDO EN CUENTA EL TIPO DE CABLE UTILIZADO .....	72
<b>FIGURA 4.7</b>	DIAGRAMA DE CABLEADO A PRUEBA DE FALLO .....	73
<b>FIGURA 4.8</b>	OPCIONES DE CONTACTO, CABLEADO A PRUEBA DE FALLO .....	73
<b>FIGURA 4.9</b>	COMIENZO DEL MOTOR OPCIONAL CABLEADO UTILIZANDO VALORES PREDETERMINADOS DE FABRICA PARA CONTACTO DE SALIDA .....	74
<b>FIGURA 4.10</b>	CONTACTO CON ENTRADA DE FABRICA ESQUEMA ELECTRICO .....	75
<b>FIGURA 4.11</b>	CABLEADO DE SALIDA ANALOGICA .....	75
<b>FIGURA 4.12</b>	DIAGRAMA ELECTRICO EQUIVALENTE DE UN CABLE .....	81
<b>FIGURA 4.13</b>	EQUIPO VLF CON OPCIÓN PARA TANGENTE DE DELTA Y DESCARGAS PARCIALES..	82
<b>FIGURA 4.14</b>	PROBLEMA DE DESCARGAS PARCIALES EN UN EMPALME .....	82
<b>FIGURA 4.15</b>	PRUEBA DE CUBIERTA .....	83
<b>FIGURA 4.16</b>	EQUIPO DUCTER PARA REALIZAR LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS....	85
<b>FIGURA 4.17</b>	CONEXIONES DEL DUCTER AL INTERRUPTOR .....	86
<b>FIGURA 4.18</b>	MEGGER MOTORIZADO DE 15KV .....	86
<b>FIGURA 4.19</b>	REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.....	87
<b>FIGURA 4.20</b>	CONEXIONES PARA REALIZAR LOS DISPAROS DEL INTERRUPTOR .....	88
<b>FIGURA 4.21</b>	CORRIENTE EN MULTIPLOS DEL RANGO EL SENSOR .....	90
<b>FIGURA 4.22</b>	REALIZACIÓN DE LA PRUEBA CON EL EQUIPO MCE MAX-PdMA. ....	96

**FIGURA 4.23** MCE EVALUADOR CIRCUITOS DE MOTORES ..... 97  
**FIGURA 4.24** PEPORTE DE PRUEBAS AL MOTOR K101f..... 97

## LISTA DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN 2.1</b>	SIRVE PARA CALCULAR LAS REVOLUCIONES POR MINUTOS.....	25
<b>ECUACIÓN 2.2</b>	DETERMINAR LA FUERZA MAGNETOMOTRIZ.....	26
<b>ECUACIÓN 2.3</b>	EXPRESIÓN DEL TORQUE DE LA MAQUINA SÍNCRONA.....	27
<b>ECUACIÓN 2.4</b>	ECUACIÓN PARA CALCULAR LA VELOCIDAD EN RPS.....	28
<b>ECUACIÓN 2.5</b>	UTILIZADA PARA CALCULAR LA IMPEDANCIA INTERNA DESPRECIABLE.....	34
<b>ECUACIÓN 3.1</b>	PRIMERA LEY DE KIRCHOFF.....	54
<b>ECUACIÓN 3.2</b>	ECUACIÓN PARA CALCULAR VOLTAJES DE LAS BOBINAS SECUNDARIAS DE UN TP.....	55
<b>ECUACIÓN 3.3</b>	SE UTILIZA PARA CALCULAR LA MEDIDA DE LA CUBIERTA RETIRADA DEL CABLE.....	61
<b>ECUACIÓN 3.4</b>	SE UTILIZA PARA CALCULAR LA MEDIDA DEL AISLAMIENTO PRIMARIO QUE SE RETIRA DEL CABLE.....	61
<b>ECUACIÓN 4.1</b>	SE UTILIZA PARA CALCULAR QUE LA CLASE DEL TC CUMPLA CON UNA PROTECCIÓN CONFIABLE DE CORTO CIRCUITO.....	70
<b>ECUACIÓN 4.2</b>	SE UTILIZA PARA CALCULAR QUE LA CLASE DEL TC CUMPLA CON UNA PROTECCIÓN CONFIABLE DE CORTO CIRCUITO.....	70
<b>ECUACIÓN 4.3</b>	CALCULA TENSIÓN DE JALADO DE TRAMO RECTO HORIZONTAL.....	78
<b>ECUACIÓN 4.4</b>	CALCULO DE JALADO TRAMO RECTO INCLINADO HACIA ARRIBA.....	78
<b>ECUACIÓN 4.5</b>	CALCULO DE JALADO TRAMO RECTO INCLINADO HACIA ABAJO.....	78
<b>ECUACIÓN 4.6</b>	SIRVE PARA CALCULAR EL TRAMO CON CURVA.....	78
<b>ECUACIÓN 4.7</b>	CALCULO DE LA PRESIÓN DE JALADO EN CURVAS.....	78
<b>ECUACIÓN 4.8</b>	CALCULO DE LA PRESIÓN DE JALADO EN CURVAS.....	78
<b>ECUACIÓN 4.9</b>	CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR EN CABLES DADA EN KILOCALORIAS.....	79
<b>ECUACIÓN 4.10</b>	CALCULA LA RESISTENCIA DE CONTACTO MAXIMA PARA UN ARRANCADOR.....	85

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 3.1</b>	SIMBOLOGIA DE UN CIRCUITO DE CONTROL .....	42
<b>TABLA 3.2</b>	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DE SEL-701 DE ACUERDO AL ESTÁNDAR ANSI .....	50
<b>TABLA 3.3</b>	LIMITE DE FACTOR DE CORRECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA EL SERVICIO DE MEDICIÓN.....	53
<b>TABLA 3.4</b>	CARGAS NORMALIZADAS PARA EL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE NORMALIZADAS CON EL SECUNDARIO DE 5A .....	54
<b>TABLA 3.5</b>	CARGA NORMALIZADA PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIAL .....	58
<b>TABLA 3.6</b>	LIMITES DEL FACTOR DE CORRECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL .....	59
<b>TABLA 3.7</b>	ERRORES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIAL .....	59
<b>TABLA 3.8</b>	TRANSFORMADOR DE CONTROL CLASE 9070.....	61
<b>TABLA 3.9</b>	TABLA DE SELECCIÓN DEL CONDUCTOR .....	65
<b>TABLA 4.1</b>	SEL-701PC SOFTWARE REQUISITOS DEL SISTEMA .....	71
<b>TABLA 4.2</b>	TIPICO RTD MÁXIMA LONGITUD DE PLOMO .....	79
<b>TABLA 4.3</b>	VALORES DE $e^{amc}$ .....	82
<b>TABLA 4.4</b>	VOLTAJE APLICADO A MOTORES DE ACUERDO CON SU TENSIÓN NOMINAL .....	99
<b>TABLA 4.5</b>	RESISTENCIA MINIMA EN MOHM DE ACUERDO A EL AÑO DE FABRICACIÓN DE LA MAQUINA .....	99
<b>TABLA:4.6</b>	VALORES MÍNIMOS DE IP DE ACUERDO A LA CLASE DE AISLAMIENTO .....	100

## **RESUMEN:**

El presente trabajo tiene la finalidad de brindar una información acerca de la integración de un nuevo compresor de aire k-101f ya que es importante conocer las características de funcionamiento que se deben tener en cuenta para selección correcta de los elementos que integraran el circuito eléctrico para el correcto funcionamiento de esta nueva máquina ya que es el alma del compresor se tienen que tener en cuenta las características de operación de la industria en la cual se integrara el motor considerando las condiciones bajo las cuales trabajara el equipo

Por ejemplo, el ajuste adecuado de las protecciones eléctricas para poder asegurar la correcta operación de estas mismas y así evitar daños severos o irreversibles en el motor por lo cual la selección de un relevador adecuado como lo es el SEL-701. Otro elemento importante son los cables alimentadores al motor la selección de estos se realizó bajo cálculos seleccionando el adecuado de acuerdo con el área de trabajo considerando los esfuerzos físicos mecánicos y químicos a los que este estará sometido, cabe mencionar que a todos los componentes seleccionados para la integración del motor fueron sometidos a pruebas eléctricas para verificar su correcta y segura operación.

# **CAPITULO I INTRODUCCIÓN**

## JUSTIFICACIÓN

Es necesario hacer mención en la toma de la decisión ya que se requiere hacer una selección de los elementos eléctricos los cuales integran el circuito del motor eléctrico estos son los cables alimentadores las protecciones interruptores y TC's y TP's a veces es un poco complicado porque en el mercado existen diferentes equipos, componentes y proveedores pero todos tienen el mismo principio de funcionamiento la gran diferencia que puedan tener son los componentes eléctricos ya que en la actualidad se va mejorando la tecnología a una gran velocidad.

Actualmente la estructura de fabricación es más compacta y se van renovando hay unidades de protección de diferentes características las cuales se adaptan a las necesidades que requiera el usuario, como el que será presentado en este trabajo

## **1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Conocer las características de los componentes que integran el circuito eléctrico de un motor en especial tomando en cuenta las características de operación por las cuales funciona el motor K101f para así cumplir con las necesidades que brinden un correcto funcionamiento, así como como también seleccionar la protección adecuada y eficaz.

### **OBJETIVO ESPECIFICO.**

El objetivo específico es contar con el conocimiento necesario para realizar la integración eléctrica y puesta en servicio del motor síncrono del compresor de aire k101f que se va a utilizar según las necesidades que se presenten, tomando en cuenta las características del motor y operación, y así seleccionar los componentes adecuados.

### **1.2.1 OBJETIVO PARTICULAR.**

Al comenzar a realizar este trabajo poner en práctica los conocimientos adquiridos por maestros y libros a lo largo de mi preparación profesional utilizando los métodos adecuados y precisos para obtener como resultado un correcto funcionamiento del motor de compresor K101f

Al concluir este proyecto tener más conocimientos y nutrir los conocimientos que se adquirieron a lo largo de mi preparación profesional también una experiencia laboral mucho más amplia conocer cómo se realizan los trabajos en industrias, adquirir conocimientos del personal el cual labora en el taller eléctrico tales como ingenieros y operarios.

Finalmente realizar un buen trabajo cumpliendo con las necesidades de operación que requiera la empresa de Petróleos Mexicanos.

## 1.3 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

### REFINERÍA “ING. ANTONIO DOVALI JAIME”

- Dirección:  
Carretera Transístmica km 3  
Salina cruz Oax.  
C.P. 70610
- Nombre del representante legal de la empresa:  
Ing. Jaime Bracamontes Pérez gerente general de la refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”.
- Ubicación geográfica:  
La refinería “Ing. Antonio Dovalí Jame”, ocupa una superficie total de 700 hectáreas localizadas a 5 km. Al noroeste de la ciudad y puerto de Salina Cruz.  
Es una ciudad con un brillante porvenir en el estado de Oaxaca.

Los terrenos se encuentran comprendidos dentro de los ejidos de Boca del Rio, San Jose del Palmar y San Pedro Huilotepec, en Santo Domingo Tehuantepec y el Puerto de Salina Cruz. El municipio de Salina Cruz se ubica sobre la costa del Océano pacifico, en una longitud norte 16°09’30”, al norte 16°18’ y longitud oeste 95°1’ 30”.

Salina Cruz colinda al norte con los municipios de San Mateo del Mar y San Pedro Huilotepec, al sur con el golfo de Tehuantepec y está catalogado como un puerto de altura y gran cabotaje.

La república mexicana encuentra en 1979 en la ciudad de Salina Cruz, Oaxaca, un punto estratégico para la distribución, tanto nacional como internacional en el Océano Pacifico, de materiales y equipos diversos, así como productos de la industria petrolera, debido a la comunicación casi inmediata en el golfo de México a través del istmo de Tehuantepec, por medio del cual se realiza el abasto de energéticos a este puerto.

La Refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, cuenta con la infraestructura para poder satisfacer las demandas de crudo de varios países, cuyos requerimientos al respecto de gran importancia debido a la ciencia mundial de este energético; así mismo para asegurar el abastecimiento y suministro de productos refinados y petroquímicos a la zona noroeste del país, a fin de conyugar en el desarrollo integral del país.

#### 1.3.1 POLÍTICAS DE LA EMPRESA.

Cumplir con los requisitos legales y otros aplicables a los procesos de refinación del petróleo crudo estableciendo un enfoque preventivo y de mejora continua en aspectos de calidad, seguridad y protección ambiental para satisfacer necesidades y expectativas de nuestros clientes y partes interesadas. La calidad, seguridad y protección ambiental son responsabilidad de todos los trabajadores ejerciendo un liderazgo nacional que sea motivo de orgullo de su personal, que incremente la productividad y eficiencia de nuestra empresa y su armonía con la sociedad.

#### Principios de la refinería

- La seguridad, salud en el trabajo y protección ambiental, son valores de la más alta prioridad para la productividad en el transporte, las ventas, la calidad y los costos.
- Todos los incidentes y lesiones se pueden prevenir.

- La seguridad, salud en el trabajo y protección ambiental son responsabilidad de todos y condición de empleo.
- En petróleos mexicanos nos comprometimos a continuar la producción y el mejoramiento del medio ambiente en beneficio del medio ambiente.
- Los trabajadores petroleros están comprometidos de que la seguridad, salud en el trabajo y protección ambiental son en beneficio propio y nos motiva a participar en este esfuerzo.

#### Política integral de administración

La subdirección de producción establece el compromiso de elaborar refinados del petróleo en base en un sistema integral de administración y de seguridad, salud en el trabajo y protección ambiental, cumpliendo los requisitos legales y normativos aplicables de manera rentable, con control de costos y disciplina operativa, desarrollando a su personal íntegramente para satisfacer al cliente y partes interesadas con la calidad y oportunidades, promoviendo la mejora continua de su proceso.

#### Política de seguridad, salud y protección ambiental

Petróleos mexicanos eficiente y competitivo, que se distingue por el esfuerzo y compromisos por sus trabajadores con la seguridad, salud en el trabajo y protección ambiental.

### 1.3.2 FILOSOFÍA DE MANTENIMIENTO.

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Reparaciones generales de plantas
- Esta actividad se lleva a cabo en las áreas de mantenimiento de mecánica y eléctrico y consiste de lo siguiente:

#### Mantenimiento Mecánico:

Se realizan monitoreos rutinarios de vibración y temperatura de los equipos dinámicos, así como la inspección de sus condiciones físicas y operativas.

#### Mantenimiento Eléctrico:

Se efectúan tomas de temperatura por termografía de los interruptores en todas las subestaciones eléctricas, tableros de distribución y en registros eléctricos lo mismo que se efectúan monitoreos de temperatura y vibración a todos los motores eléctricos.

La información del mantenimiento predictivo de las especialidades Mecánico y Eléctrico, se analizan con la finalidad de detectar oportunamente fallas y corregir las desviaciones, se registran tendencias del comportamiento de los equipos integrándose a una base de datos. Evitando situaciones de riesgos, aumentando con esto la confiabilidad del equipo, la integridad del personal, las instalaciones y disminuyendo los costos del mantenimiento.

- Mantenimiento preventivo:  
El Mantenimiento Preventivo se realiza de acuerdo con lo que recomienda el fabricante del equipo y basados en nuestra experiencia en cuanto a periodos de revisión y ajustes de condiciones mecánicas, físicas y de operación.

Se realiza por los especialistas de mantenimiento.

- Mecánico
- Eléctrico
- Instrumentos
- Plantas
- Civil

Se efectúa de acuerdo a los procedimientos

Específicos.

- Mantenimiento correctivo:

Son actividades no programadas, y se realiza cuando un equipo queda inhabilitado para su servicio.

Este mantenimiento se ejecuta en base a un programa de actividades después de la evaluación de las anomalías que se hayan encontrado. El equipo deberá quedar con los ajustes y tolerancias que marca el fabricante para su óptimo funcionamiento.

- Reparación general de plantas de proceso:

El programa de reparación de plantas de proceso se realiza de acuerdo a los diagnósticos operacionales que se determinan por el grupo técnico de los mismos, integrándose éstas al programa institucional de reparaciones del Sistema Nacional de Refinación. Las actividades de la reparación, se atienden en la modalidad de Obras por Contrato y Administración Directa.

### 1.3.3 FUNCIÓN DEL TALLER ELÉCTRICO

Taller de mantenimiento eléctrico

**Misión:** Conducir la gestión de Mantenimiento en los Organismos de Petróleos Mexicanos, optimizando de manera continua la rentabilidad de los activos, administrando los riesgos y respetando al medio ambiente.

**Visión:** La gestión de Mantenimiento ha posicionado a Petróleos Mexicanos como una empresa de Clase Mundial en mantenimiento, de manera rentable e innovadora, sustentada en la excelencia y mejora continua de su gente, procesos y tecnología, proporcionando máxima seguridad en sus instalaciones y absoluto respeto a su entorno."

Por lo tanto, las actividades del taller eléctrico van desde el mantenimiento preventivo hasta el mantenimiento correctivo sin el equipo intervenido así lo requiere, las características principales de estas actividades son:

- Desarrollar un mantenimiento preventivo con calidad y seguridad.

- Mantener en excelentes condiciones de operación todos los equipos eléctricos instalados en las subestaciones eléctricas.
- Crear un historial de cada uno de los equipos eléctricos intervenidos por el laboratorio eléctrico
- Desarrollar una bitácora de todas las actividades desarrolladas diariamente por el laboratorio eléctrico en cada una de las subestaciones eléctricas.
- Presentar dictámenes del estado de todo el equipo eléctrico que se reciba después de haberle realizado mantenimiento correctivo.
- Realizar pruebas de recepción a todos los equipos nuevos que requieran instalar.

Todo lo anterior es con la finalidad de proteger al personal que ejecute trabajos en dichos sitios, así también a las propias instalaciones y equipos de las plantas de proceso.

Finalmente, como características fundamentales del laboratorio eléctrico, su función básica es mantener y preservar en óptimas condiciones todas las subestaciones eléctricas que depende de la refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”.

#### **1.4 PROBLEMAS A RESOLVER.**

El problema que se pretende resolver con la integración eléctrica de este nuevo compresor de aire K101f en Petróleos Mexicanos es satisfacer la mayor demanda de aire en la planta de fuerza y servicios principales de la refinería ya que con el aumento de equipos y la expansión de la refinería la demanda de energía eléctrica es mucho mayor siendo esta la planta encargada de generar la energía eléctrica, cabe mencionar que este compresor cumple con una capacidad mayor al compresor que viene a sustituir contando con una tecnología más sofisticada.

## 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.

En este proyecto hay que determinar el alcance y las limitaciones para poder realizarlo.

Dentro de los alcances se busca tener una máquina eficiente para el sistema en el que se encuentre operando ya que estos compresores trabajan con variaciones constantes de presión, proporcionando con los dispositivos seleccionados tales como alimentación, protección cumplan con su correcto funcionamiento y actúen en el momento requerido dándose el caso de un posible disturbio al cual actuaran de la manera correcta protegiendo al equipo librándolo de sufrir daños severos.

Dentro de las limitaciones que puede haber es la adaptación del nuevo compresor a la planta de fuerza y servicios principales ya que la empresa de Petróleos Mexicanos cuenta con otros compresores, pero de menor capacidad los cuales presentan fallas frecuentemente lo cual puede llevar a generar una carga excesiva a la máquina.

## 1.6 ESTRUCTURA DEL REPORTE

El presente trabajo se encuentra formado por cuatro capítulos, el contenido principal en cada capítulo se describe a continuación de una manera sencilla pero concreta.

**En el primer capítulo;** trata de los aspectos generales de la empresa donde se realizó la residencia profesional.

**En el segundo capítulo;** Se encuentra enfocado principalmente en los motores síncronos mencionando su principio de funcionamiento, tipos de arranque de un motor síncrono, tipos de lubricación y partes constitutivos ya que para darle una buena protección primero que nada necesitamos conocer que es un motor síncrono y cómo funciona, una vez que ya se halla entendido entonces se procede a la selección del sistema de control cables alimentadores y protecciones adecuadas.

**En el tercer capítulo;** En este tercer capítulo podremos encontrar los diferentes tipos de elementos y componentes que conforma un sistema de control, se hace mención, de los tipos de diagramas de control que existe también se menciona los cables alimentadores de media tensión y los tipos de arrancadores que existen.

En este capítulo se hace mención las ventajas y desventajas de los arrancadores y tipos de control, así como el control manual, semiautomático y el automático, como también el arrancador reversible, diferencial y estrella-triángulo, se mencionan las características de los cables alimentadores de mediana tensión, los tipos de empalmes que se les realizan y las características de las protecciones.

**En el cuarto capítulo;** En este último capítulo se encuentra la integración eléctrica del motor síncrono del compresor de aire K-101f de la planta de fuerza y servicios principales refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, así como también hace mención a las pruebas realizadas a los cables alimentadores, arrancador y al mismo motor para asegurarse que tendrá una correcta operación eliminando la posible falla en alguno de estos elementos importantes en la integración eléctrica del motor.

Finalmente se presenta la conclusión del trabajo.

# CAPITULO II MOTOR SÍNCRONO

## 2.1 MOTOR SÍNCRONO [1,2]

Los motores síncronos constituyen otro de los modelos más destacados del grupo de los de CA. Como su nombre indica, su característica más destacada es la del sincronismo, es decir, que su velocidad de rotación será constante y uniforme y estará regulada por la frecuencia de la corriente de alimentación. Normalmente este tipo de motores está formado por un inductor móvil o rotor y un inducido fijo o estator, intercambiándose sus funciones con respecto al resto de modelos en los que la parte móvil corresponde casi siempre al inducido.

Contrario a los anteriores motores trifásicos, el motor trifásico sincrónico tiene la velocidad del rotor igual a la velocidad del campo magnético del estator, esto es, su deslizamiento es cero.

Su estator es igual al de jaula de ardilla, pero su rotor está compuesto por un bobinado de polos salientes y en su interior otro en jaula de ardilla. Inicialmente se aplica la corriente trifásica al bobinado del estator y con el rotor en jaula de ardilla arranca funcionando como motor asincrónico, o sea,  $V_r$  menor a  $V_s$ . Luego se conecta corriente continua al bobinado del rotor de polos salientes arrastrando la velocidad del campo del estator al rotor por tener polos fijos igualando de esta forma las velocidades y volviéndose sincrónico. El c.c. es aplicado al rotor por medio de los dos anillos rozantes y sus correspondientes escobillas.

Características:

- Velocidad rigurosamente constante y funcionamiento estable si la carga no sobrepasa cierto límite. De lo contrario, se inmoviliza rápidamente y el estator puede tomar corrientes peligrosas para su bobinado.
- La velocidad es función de la frecuencia de la red y del número de polos del estator.

$$PRM = \frac{120F}{P} \quad (2.1)$$

Dónde:

RPM Son las revoluciones Por Minuto

F Es la frecuencia de la red

P Son los Números de polos

- Colocando un reóstato en el circuito del rotor se puede sobre excitar y con ello mejorar el factor de potencia de la red. Hace las veces de un condensador y por esos se le llama condensador sincrónico.

- Se usa cuando se requiere una velocidad rigurosamente constante como en telares, máquinas herramientas, etc.

## 2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR SÍNCRONO [2]

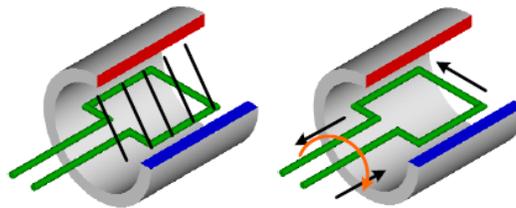
El principio de funcionamiento es bastante simple y consiste en los efectos combinados del campo magnético constante del inductor, creado por el electroimán alimentado por CC o bien por un imán permanente y del inducido que contiene una serie de bobinados a los que se les aplica una CA.

Un motor eléctrico es una máquina capaz de producir movimiento mediante la transformación de la energía eléctrica en fuerza mecánica. Ello se debe a que cuando la corriente eléctrica circula por un conductor se crea alrededor del mismo magnetismo que es función directa de la intensidad de esa corriente.

Se dice que un motor eléctrico es una (maquina eléctrica rotativa) que transforma energía eléctrica en energía mecánica. En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión interna:

- A igual potencia su tamaño y peso son más reducidos.
- Se puede construir en cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.
- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 80%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la maquina).
- La gran mayoría de los motores eléctricos son maquinas reversibles pudiendo operar como generadores, convirtiendo energía mecánica en eléctrica.

Si a ese conductor por el cual circula corriente se introduce dentro de un campo magnético se origina una fuerza que tiene a desplazarlo. Este es el principio básico de los motores eléctricos, fig. 2.1.



El electroimán genera un fuerte Campo magnético entre sus polos.

Si se aplica una corriente eléctrica por una bobina colocada en el interior del campo.  
-se crean fuertes campos de repulsión y atracción entre los dos elementos imán y bobina y obligamos a la bobina a girar, de esta manera se tiene en motor eléctrico.

**Figura 2.1** Principio de operación de un motor eléctrico.

Al igual que la máquina de inducción el estator de la máquina síncrona se encuentra alimentado con corrientes alternas. Esto hace que se produzca un campo magnético rotatorio en el estator según la [ec.1.1].

$$F_e = \frac{3}{2} \cdot F_m(\omega t - \theta) \quad (2.2)$$

Dónde:

**$F_e$**  Es la fuerza magnetomotriz del estator.

**$F_m$**  Es la fuerza máxima equivalente a  $N \cdot I_{max}$  ( $N$  es el número de vueltas de las bobinas del estator e  $I_{max}$  el valor máximo de la corriente de alimentación)

**$\Omega$**  Es la velocidad síncrona.

**$\Theta$**  Es el ángulo que determina la posición del punto del entrehierro donde se está Calculando la fuerza magnetomotriz.

La expresión anterior implica que el máximo de la fuerza magnetomotriz (cuando  $\cos(\omega t - \theta) = 1$ ) se desplaza a través del entrehierro a velocidad  $\theta = \omega$ , es decir a la velocidad síncrona.

Esta velocidad síncrona, también denotada como  $\omega_s$ , corresponde a la frecuencia de la red cuando la máquina posee un par de polos o  $\frac{\omega}{(p/2)}$  a cuando la máquina tiene “ $p$ ” polos.

En el caso del rotor de la máquina síncrona, éste se encuentra alimentado por una corriente continua (o bien tiene imanes permanentes) lo cual hace que la fuerza magnetomotriz del rotor sea de magnitud constante y se encuentre fija a él. En estas condiciones, el campo magnético del rotor tiende a alinearse con el campo magnético rotatorio de estator haciendo que el eje gire a la velocidad síncrona.

La expresión para el torque instantáneo de la máquina está dada por:

$$T(t) = K_T \cdot F_e \cdot F_R \cdot \text{sen}(\delta) \quad (2.3)$$

Dónde:

- $K_T$**  Es una constante de diseño de la máquina.
- $F_e$**  Es la fuerza magnetomotriz del estator.
- $F_r$**  Es la fuerza magnetomotriz del rotor.
- $\delta$**  Es el ángulo entre las fuerzas magnetomotrices del estator y rotor.

De la expresión anterior es factible comprobar que la existencia de torque medio está supeditada a la condición de que el ángulo entre las fuerzas magnetomotrices ( $\delta$ ) sea constante, lo cual se cumple ya que ambos campos magnéticos giran a la velocidad síncrona. Adicionalmente, la magnitud del torque dependerá del valor del ángulo entre las fuerzas magnetomotrices siendo este valor máximo cuando  $\delta = 90^\circ$  (caso teórico).

Conforme a lo anterior, en el caso del motor síncrono, la característica torque velocidad es la que se muestra en la figura 2.2.

De la figura es posible apreciar que este tipo de motor no posee torque de partida por lo cual requiere de mecanismos adicionales que permitan el arranque hasta llevarlo a la velocidad síncrona.

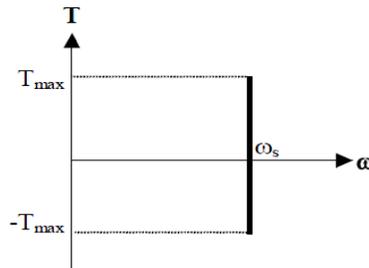


Figura 2.2 Característica Torque velocidad del motor síncrono

## 2.3 VELOCIDAD

En nuestro caso el imán permanente o rotor dará una revolución por cada ciclo de la corriente, por lo tanto, la velocidad de giro coincidirá con la frecuencia, ya que, si esta es de, por ejemplo 50 Hz, producirá 50 giros completos en un segundo y como consecuencia el rotor dará 50 vueltas en el mismo tiempo, o lo que es equivalente a 50 rps.

Si en lugar de emplear un imán para el rotor se emplearan dos en Angulo recto y unidos solidariamente al mismo eje y en vez de dos pares de bobinas desfadas empleáramos cuatro, el efecto resultante también sería una rotación, pero la velocidad de giro resultante sería la mitad de

la anterior. Por lo tanto, puede definirse la velocidad de rotación de un motor síncrono por la fórmula siguiente:

$$N = \frac{F}{P} \quad (2.4)$$

Dónde:

N representa dicha velocidad en rps,

F es la frecuencia de la CA

P el número de pares de polos que posee el inductor; así en el caso anterior, como el imán tiene dos pares de polos, la velocidad resultante será de 25 rps

## 2.4 INDUCTOR E INDUCIDO [1,2]

Algunos modelos de motores síncronos contienen el inducido en el interior del inductor, con lo que la parte móvil será la exterior, siendo el principio de funcionamiento es similar al descrito anteriormente.

En ocasiones se sustituyen los imanes permanentes del estator por unos electroimanes, en este caso, es necesario aplicar una CC de excitación, con objeto de poder crear todos los pares de polos magnéticos que se precisan. Además, y dado que estos electroimanes constituyen el rotor, siendo por lo tanto móviles, se requiere contar con un dispositivo capaz de producir los contactos eléctricos para el paso de dicha corriente durante la rotación como en el caso de los motores de CC. Para ello se emplean dos anillos conectores que resbalan sobre sendas escobillas de forma que el polo positivo permanezca siempre aplicado a uno de ellos y el negativo al otro.

Para las dos fases que se necesitan para el arranque y funcionamiento del motor se suele utilizar un condensador situado en serie con uno de los dos grupos de devanados. De esta forma la corriente se retrasará  $90^\circ$  aproximadamente al circular por este y alcanzara a las bobinas en las condiciones requeridas. Si en lugar de situar el condensador en los bobinados mencionados y se cambiara a los otros, el efecto sería el de invertirse el sentido de rotación, manteniéndose el resto de las características sin ninguna variación.

## 2.5 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MOTOR [6,7]

### 2.5.1 CARCASA

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

- a) Totalmente cerrada
- b) Abierta
- c) A prueba de goteo
- d) A prueba de explosiones
- e) De tipo sumergible

## 2.5.2 BASE

La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos:

- a) Base frontal
- b) Base lateral

## 2.5.3 CAJA DE CONEXIONES.

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

## 2.5.4 COJINETES.

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

- a) Cojinetes de desplazamiento. Operan al base al principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa lubricación entre barra del eje y la superficie de apoyo.
- b) Cojinetes de rodamiento. Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:
  - Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
  - Son compactos en sus diseños
  - Tienen una alta precisión de operación.
  - No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
  - Se remplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares.

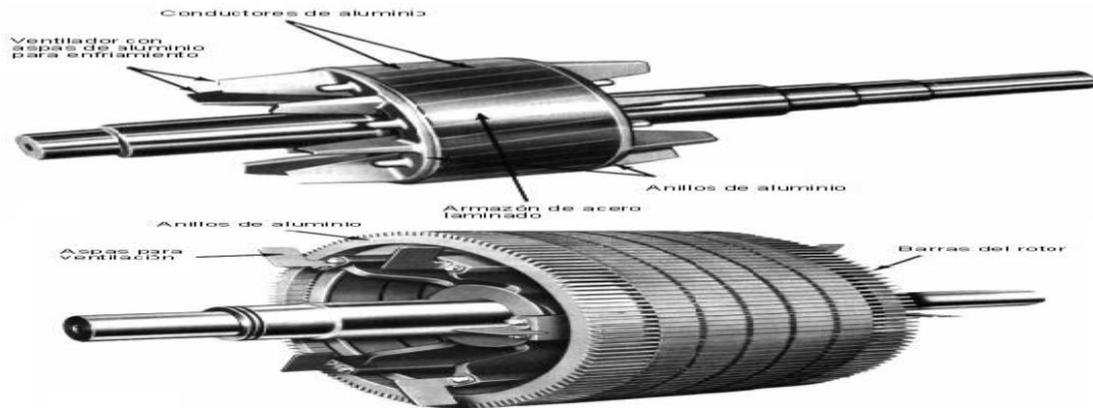
## 2.5.5 ROTOR.

El rotor, es la parte móvil giratoria que se localiza en el interior del estator. Está hecho a base de placas apiladas y montado sobre el eje del motor. Dispone de unas ranuras donde van colocados los conductores que forman la bobina de inducido que están cerrados sobre sí mismos constituyendo un circuito cerrado. Al ser afectados los conductores por un campo magnético variable se generan en ellos f.e.m. que dan lugar a corrientes eléctricas.

Al circular las corrientes eléctricas por unos conductores dentro de un campo magnético, aparecen fuerzas que obligan al rotor a moverse siguiendo al campo magnético.

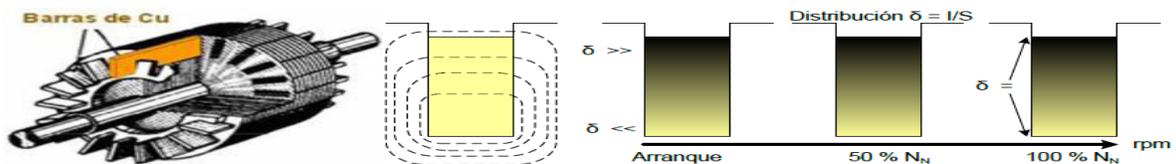
Desde el punto de vista constructivo se pueden distinguir dos formas típicas de rotor:

Rotor de jaula de ardilla. Está constituido por barras de cobre o de aluminio y unidas en sus extremos a dos anillos del mismo material. Al no tener colectores, escobillas, son muy simples y están prácticamente libres de fallas. Funcionan a velocidad prácticamente constante y se utilizan para el accionamiento de compresores, ventiladores, bombas, etc. El motor de jaula de ardilla, Fig.2.3 a y b, tiene el inconveniente de que la resistencia del conjunto es invariable, no son adecuados cuando se debe regular la velocidad durante la marcha.



**Figura 2.3** Partes de un rotor tipo jaula de ardilla.

Rotor bobinado o de anillos rozantes. El rotor está constituido por tres devanados de hilo de cobre conectados en un punto común. Los extremos pueden estar conectados a tres anillos de cobre que giran solidariamente con el eje (anillos rozantes). Haciendo contacto con estos tres anillos se encuentran unas escobillas que permiten conectar a estos devanados unas resistencias que permiten regular la velocidad de giro del motor. Son más caros y necesitan un mayor mantenimiento, Fig.2.4.



**Figura 2.4** Rotor bobinado o de anillos rozantes.

En estos casos se utiliza el motor de rotor bobinado que, como su nombre lo indica, está constituido por un bobinado trifásico similar al del estator, cuyos arrollamientos aislados terminan en anillos rozantes que se conectan por medio de escobillas a un dispositivo de control. Este dispositivo permite:

- Aumentar el par de arranque.
- Variar la velocidad del motor en marcha.

Estas características los hacen útiles para aplicaciones en máquinas de gran inercia inicial y variación de velocidad, como grúas, elevadores, mecanismos pesados, etc.

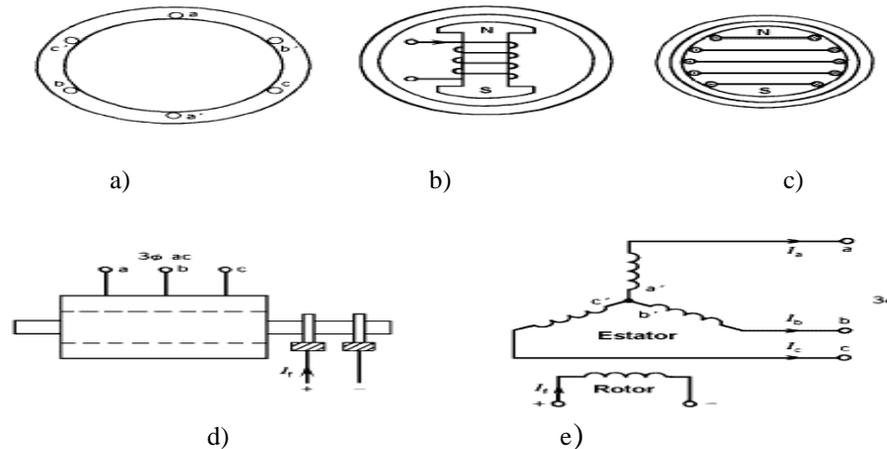
El rotor de una máquina síncrona puede estar conformado por:

- Imanes permanentes
- Rotor de polos salientes
- Rotor cilíndrico

Los imanes permanentes representan la configuración más simple ya que evita el uso de anillos rozantes para alimentar el rotor, sin embargo, su aplicación a altas potencias se encuentra limitada ya que las densidades de flujo magnético de los imanes no son, por lo general, alta. Adicionalmente, los imanes permanentes crean un campo magnético fijo no controlable a

diferencia de los rotores con enrollados de excitación donde se puede controlar la densidad de flujo magnético.

Dentro de los rotores con enrollados de excitación se tienen los de tipo cilíndrico y los de polos salientes, ambos ilustrados en la figura 2.5. (a) Muestra el diagrama del estator de una máquina síncrona, la figura (b) corresponde a un rotor de polos salientes, en tanto que el dibujo (c) muestra el esquema de un rotor cilíndrico. Por su parte, en las figuras (d) y (e) se observan la apariencia de una máquina síncrona vista desde fuera y la representación de los enrollados de rotor y estator, respectivamente.

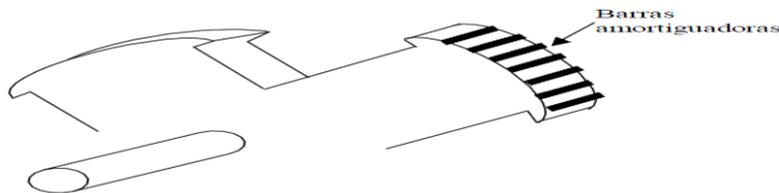


**Figura 2.5** Rotores de máquina síncrona

De acuerdo con lo estudiado, los motores síncronos no pueden arrancar en forma autónoma lo cual hace que requieran mecanismos adicionales para la partida:

- Una máquina propulsora externa (motor auxiliar).
- Barras amortiguadoras.

Particularmente en el segundo caso, se intenta aprovechar el principio del motor de inducción para generar torque a la partida. Constructivamente, en cada una de las caras polares del rotor (polos salientes), se realizan calados donde se colocan una barras, denominadas amortiguadoras, que le dan al rotor una característica similar a los segmentos tipo jaula de ardilla del motor de inducción (ver figura 2.6).



**Figura 2.6** Barras amortiguadoras en motor síncrono

De este modo, el motor se comporta como una máquina de inducción hasta llegar a la velocidad síncrona. Es importante notar que el circuito de compensación se construye de modo que el campo magnético rotatorio inducido en el rotor sea débil comparado con el campo magnético fijo del rotor (producido por la alimentación con corriente continua). De este modo se evita que el efecto de inducción perturbe la máquina en su operación normal.

### 2.5.6 ESTATOR [2,6]

Dada la alimentación alterna de la armadura, el estator de la máquina síncrona es muy similar al estator de la máquina de inducción.

El estator está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (y se les llama “paquete”), que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos.

Los polos de un motor siempre son pares, por ello el mínimo de polos que pueden tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur).

### 2.6 ARRANQUE DE LOS MOTORES SÍNCRONOS [1,12]

Es evidente, entonces, que el motor síncrono debe llevarse a una velocidad suficiente cercana a la velocidad síncrona, a fin de quedar en sincronismo con el campo giratorio. Los medios con los cuales se lleva hasta la velocidad correspondiente son: un motor de C.C. acoplado al eje del motor síncrono; el uso de la excitatriz como motor C.C.; un pequeño motor de inducción de, por lo menos, un par de polos menos que el motor síncrono; el uso de los devanados amortiguadores como motor de inducción de la jaula de ardilla.

El primer método se usa a veces en laboratorios con motores síncronos no equipados con devanados amortiguadores. Generalmente el motor síncrono está pensando como motor de accionamiento de velocidad constante para el generador de C.C. pero para llevar el motor a sincronismo, el generador de C.C. se hace funcionar como motor, y la máquina síncrona de C.A. se sincroniza a la fuente de C.A. como alternador. Una vez en paralelo con la alimentación, la máquina síncrona funciona como un motor. El “motor” de C.C. no actúa como generador si su corriente de excitación aumenta de manera que su f.e.m. generada sea mayor que la tensión en barras de C.C.

El segundo método realmente es igual que el primero, excepto que la excitatriz (un generador derivación de C.C) se hace funcionar como motor, y la máquina síncrona de C.A. esta sincronizada a la fuente de C.A.

El tercer método, en el cual se usa un motor de inducción auxiliar con menos polos, implica el mismo procedimiento de sincronización para el motor síncrono de C.A. que un alternador. Se necesita como mínimo un par de inducción para compensar la pérdida de velocidad del motor de inducción debido al deslizamiento.

En los tres métodos mencionados anteriormente, es necesario, que haya poca o ninguna carga sobre el motor síncrono, y que la capacidad del motor de arranque (C.C y C.A) este comprendida entre el 5 y el 10% de la potencia nominal del motor síncrono acoplado a él.

Desde luego, el método más común de arranque de un motor síncrono, sin embargo, es como motor de inducción usando los devanados amortiguadores. Este método es el más simple y no requiere de máquinas especiales auxiliares.

En los tres mencionados anteriormente, es necesario, que haya poca o ninguna carga sobre el motor síncrono, y que la capacidad del motor de arranque (c.c. y c.a.) Este comprendida entre el 5 y el 10% de la potencia nominal del motor síncrono acoplado a él. Como un motor de inducción usando los devanados amortiguadores. Este método es el más simple y no requiere de máquinas auxiliares especiales.

## 2.6.1 ARRANQUE DE UN MOTOR SÍNCRONO CON CARGA

El motor síncrono arranca y funciona a velocidad síncrona, o acerca de ella, como motor de inducción sobre sus devanados amortiguadores de tipo de inducción. Se hizo la suposición de que el motor estaba ligeramente cargado y para desarrollar una velocidad cercana síncrona. El devanado de jaula del motor de inducción requería una resistencia baja y una reactancia elevada. Pero estas últimas características en un motor de inducción producen un par de arranqué bajo para la misma corriente de inducción. En general estos pares son de 30% al 50% del par de plena carga. Para ciertos tipos de cargas, tales como ventiladores o compresores de aire, cuyas cargas son función de velocidad, son admisibles tales pares bajos, y el motor síncrono generara más velocidad hasta quedar en sincronismo con una total carga en su eje, pero la creciente popularidad de los motores síncronos creo una demanda de un motor síncrono que pudiera desarrollar elevados pares de arranque con cargas fuertes. El par de arranque de las barras del rotor síncrono en jaula de ardilla puede ser mejorado usando aleaciones de elevada resistividad en las barras. Esto, sin embargo, no lleva al rotor tan cerca de la velocidad síncrona como los motores de baja resistencia, ya que el deslizamiento aumenta debido a la resistencia elevada. Abriendo la excitación durante un instante, y cortocircuitándola precisamente antes de aplicar la corriente continua, se proporcionará al rotor un empuje suficiente para enclavarlo en sincronismo.

Sin embargo, la mejor técnica consiste en usar un rotor bobinado, denominado devanado amortiguador de fase, e n el lugar del devanado de jaula de ardilla en la cara polar. Un motor de ese tipo se reconoce inmediatamente porque emplea cinco anillos rozantes: dos para el devanado de excitación de c.c. y tres para el devanado de c.a. del rotor bobinado conectado en estrella. El comportamiento en al arranque del devanado del amortiguador bobinado (o rotor simplex) es similar al del motor de inducción de rotor bobinado, puesto que se usa una resistencia de arranque extra para mejorar el par de arranque. El motor se hace arrancar con toda la resistencia externa por fase, y en el circuito de excitación de c.c. se cortocircuita. El motor se va aproximando a la velocidad síncrona al ir reduciendo la resistencia de arranque, cuando se aplica la tensión de la excitación de c.c. el motor se pone en sincronismo. Combinando el elevado par de arranque del motor de inducción de rotor bobinado (hasta tres veces del par normal de plena carga) con las características del funcionamiento del motor síncrono del rotor tipo simplex ver el diagrama en la figura 2.7 (denominando también motor asíncrono sincronizado) ha encontrado numerosas aplicaciones en los casos que se requiere arranque en carga además de velocidad constante.

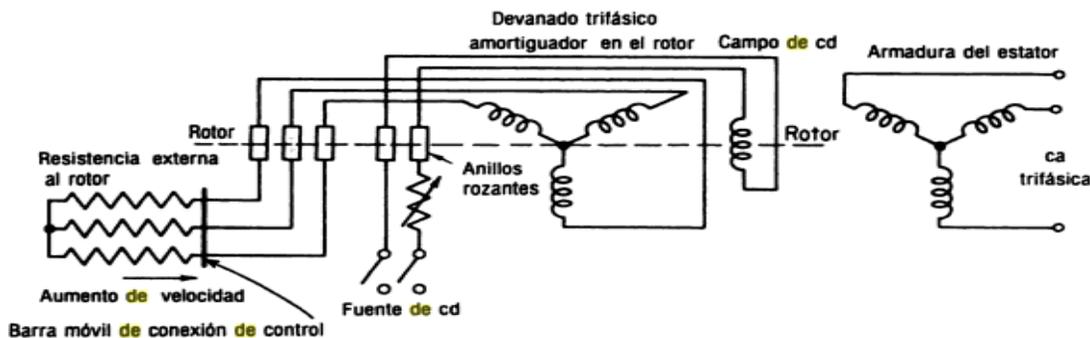


Figura 2.7 Diagrama esquemático del motor síncrono con amortiguador devanado (rotor simplex).

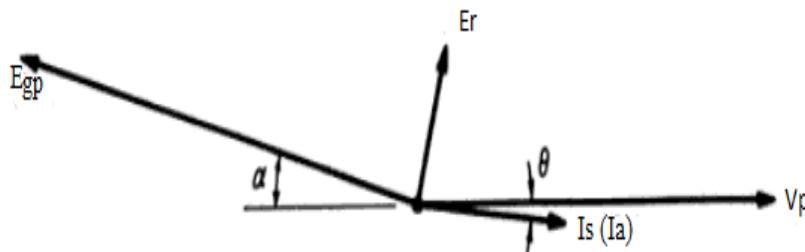
## 2.6.2 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR SÍNCRONO. [12]

Los motores producen una tensión generada mientras tiene lugar el efecto motor. Durante el periodo transitorio, durante el cual el motor síncrono va aumentando su velocidad, como motor de inducción circula una corriente de inducido en su devanado en su estator esta corriente está siendo limitada esencialmente por la tensión inducida y la corriente que circula por las barras del rotor del devanado amortiguador por el efecto transformador. Una vez aplicada tensión a su excitación de c.c. (y puesto el rotor en sincronismo), sin embargo, el flujo del rotor induce una tensión de c.a. en los conductores del estator. Como el motor síncrono está en paralelo con las barras, la corriente que absorbe el motor como resultado del efecto motor es una corriente sincronizante y se necesita una potencia sincronizante para mantener su rotor en sincronismo con la frecuencia de rotación del flujo del estator. En algunos métodos de arranque sin devanado amortiguador, el motor debía sincronizarse con las barras usando una técnica idéntica a la necesaria para el funcionamiento en paralelo de alternadores.

La relación vectorial de un alternador síncrono de c.a. en los diagramas se observa que las posiciones de fase de las tensiones generadas eran menores de  $180^\circ$  como resultado de la potencia sincronizante. Estas figuras están resumidas en la figura 2.8 con un pequeño cambio, simplemente que la tensión de barras que suministra la corriente sincronizante se tomó como tensión de referencia y esta presentada como tensión en bornes por fase.  $V_p$ , en lugar de  $E_{gp}$ . Debe observarse en la figura, que la tensión generada  $E_{gp}$  es igual a la tensión de barras, debe notarse que la corriente del inducido del motor y la corriente sincronizante  $I_s$  o  $I_a$  son debidas a la tensión resultante,  $E_r$ . Suponiendo que la alimentación de barras de c.a. que consta de uno o más alternadores en paralelo, tiene una impedancia interna despreciable (suposición justificable en la mayoría de casos), que expresa el valor de las corrientes sincronizante en el inducido puede simplificarse a:

$$I_a = \frac{V_p - E_{gp}}{R_a + jX_{sa}} = \frac{E_r}{Z_p} \quad (2.5)$$

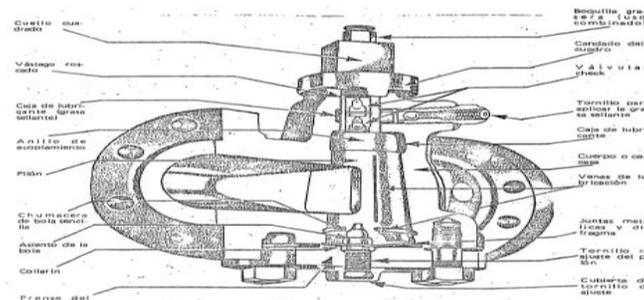
En la que  $I_a$  es la corriente del inducido por fase absorbida por el motor síncrono de las barras c.a.  $V_p$  es la tensión de fase aplicada en el inducido del estator del motor síncrono,  $E_{gp}$  es la tensión generada en los conductores de inducido,  $E_r$  es el vector diferencia entre la tensión aplicada al inducido y la tensión generada por fase,  $Z_p$  es la impedancia por fase del motor síncrono, que consta de  $R_a$  y de  $X_{sa}$ ,  $R_a$  es la resistencia efectiva del inducido por fase  $X_{sa}$  es la reactancia síncrona del inducido por fase (ver figura 2.8)



**Figura 2.8** Relación entre la tensión generada del motor síncrono y tensión de barras después de la sincronización a las barras en vacío.

## 2.7 LUBRICACIÓN DE LOS MOTORES. [8]

La gran mayoría de las maquinas industriales, hoy en día dependen de los motores eléctricos, así como de su fuerza motriz. Los tamaños de los motores oscilan desde las pequeñas unidades de fracción de caballo de fuerza, hasta los grandes motores de cientos de caballo de fuerza. Es muy importante el cuidado que se ponga cuando se lubrique un motor eléctrico. La avería en los cojinetes de un motor puede ser grave. Usualmente cuando se estropea un cojinete, es necesario reemplazar el motor o del contrario la producción tiene que aguardar a que se repare. En cualquier de los dos casos se sufren demoras costosas. Muchos de los motores de tipo grande están equipados con cojinetes lisos de lubricación por anillo. Otros motores tienen rodamientos a bolas o rodillos están diseñados para la lubricación con grasa a aceite. La tendencia en los últimos años, ha sido en el sentido de equipar los motores con rodamientos a bolas diseñadas para la lubricación con grasa. Hasta cierto punto los problemas encontrados en ambos tipos son similares.



**Figura 2.9** Válvula macho del tipo de alta presión con sistema individual para inyección de lubricación y para grasa de sello.

Las velocidades de rotación llegan hasta varios miles de revoluciones por minutos. Las temperaturas de un motor cargado normalmente pueden alcanzar de 50 a 90°F más que la temperatura del aire circulante. Cuando el motor está sobrecargado, la temperatura puede ser aún más alta.

### 2.7.1 LUBRICACIÓN CON ACEITE DEL MOTOR ELÉCTRICO.

El tipo de aceite que se use en un motor eléctrico dependerá del diseño del cojinete. Cuando el motor este equipado con cojinetes listo de lubricación por anillo o rodamiento a bolas lubricación con aceite, debe usarse de buena calidad, de preferencia uno de grado para turbina, que tenga además un bajo residuo de carbón, buena resistencia a la oxidación, puntos de desprendimientos de gases y de inflamación superiores a 350 y 400°F respectivamente, y buenas cualidades antiespumantes. Los cojinetes lisos (chumaceras) de lubricación por anillo, que se muestran en la fig.2.10 Así como también los rodamientos a bolas y rodillos lubricados con aceite mostrados en la fig.2.11 Deben ser inspeccionados frecuentemente sobre todo si están funcionando en lugares donde la temperatura de los cojinetes excede de 275°F. Durante estas inspecciones se debe comprobar el nivel de aceite y añadir el necesario para mantener el nivel adecuado.

Es de mayor importancia, en la lubricación de estos motores, mantener el aceite alejado de las bobinas. El aceite se puede introducir a lo largo del eje dentro del embobinado, si se dejan estropear las juntas si el depósito de aceite está demasiado lleno. El aceite en el embobinado tiende a obstruir los pasos de ventilación y a recoger polvo. Como resultado de ello el motor se sobrecalienta y se puede provocar un incendio; este sobrecalentamiento reduce también la calidad lubricante del aceite. El que las bobinas se empapen de aceite con el paso del tiempo puede

cuásar cortocircuito y hacer necesario el rebobinado del motor. Es importante recordar que no hay que lubricar con exceso.



**Figura 2.10** Cojinete liso de lubricación por anillo **Figura 2.11** Rodamiento a bolas lubricado por baño de aceite.

## 2.7.2 LUBRICACIÓN CON GRASA DEL MOTOR

Cuando el motor eléctrico está equipado con rodamientos a bolas o rodillos, y diseñado para la lubricación con grasa, la grasa se debe usar a base de sodio y de fibra deleznable, hecha especialmente para la lubricación de rodamientos a bolas y rodillos. Una grasa con estas características adecuadas para este trabajo, tendrá una consistencia de 2 o 3. Tendrá buena resistencia a la oxidación durante largos periodos de servicio. Los rodamientos a bolas de los motores eléctricos se deben lubricar cuidadosamente. Al aplicar grasa a estos rodamientos es importante que se evite el exceso de lubricación.

## 2.8 LUBRICACIÓN DE COPLES [8]

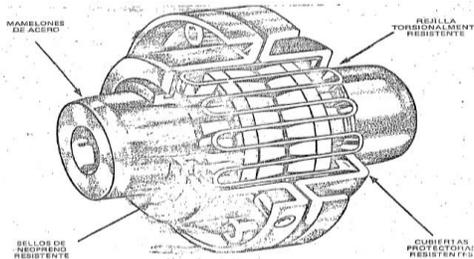
Son muchos y muy variados los tipos de acoplamiento usados en la industria para conectar un equipo a otro. Sin embargo, todo acoplamiento tiene como funciones principales absorber desalineamientos, dilatación o contracción de las partes de conexión de los equipos.

Los pasos más comunes, son:

- Cople de engranes. - Este tipo es usado en la conexión de motor-bomba, turbina-bomba, turbo-generador, etc.
- Cople de rejilla. - Aplicado a los mismos equipos.
- Cople de cadena. - Este Cople es usado principalmente en equipos motor-reductores y transportadores.

Para todos los tipos de coples, es importante considerar lo siguiente: la lubricación inadecuada del acoplamiento causa desgaste excesivo de las partes componentes del mismo, ya que la fuerza centrífuga hace que el lubricante fluya hacia fuera de las superficies de contacto (en fricción), dejándolas sin protección. Es por esto que el Cople debe ser llenado adecuadamente de lubricante, cuidando reducir a un mínimo las bolsas de aire para que al actuar la fuerza centrífuga, haga fluir al lubricante hasta todos los espacios y lubricar completamente el Cople.

En la figura 2.12 se muestra el interior del cople de rejilla donde se debe de lubricar.



**Figura 2.12** Cople de rejilla.

**CAPITULO III**

**COMPONENTES DEL  
SISTEMA DE CONTROL,  
CABLES ALIMENTADORES DE  
MEDIA TENSIÓN Y PRUEBAS  
ELECTRICAS**

### **3.1 ANTECEDENTES DE LOS CENTROS DE CONTROL DE MOTORES. [3]**

El desarrollo de los centros de control de motores y centros de distribución de energía en diseño máximo de 600 v.c.a, se halla ligado a la evolución de los interruptores termomagnéticos en caja moldeada, así es como, con la aparición de los interruptores termomagnéticos, surge la aplicación de arrancadores combinados en sustitución del arreglo tradicional del interruptor de navajas o de seguridad y arrancador magnético, como unidades separadas. El uso de estas combinaciones de interruptor-termomagnéticos-arrancador fue alcanzando cada vez más auge, debido a su facilidad de instalación y bajo costo.

Al mismo tiempo fue haciéndose notable la tendencia, sobre todo en instalaciones eléctrica de cierta importancia, a localizar los controles de motores agrupados en aéreas remotas, en lugar de instalarlos individualmente cerca de cada motor.

Esto a su vez, llevo a la práctica de montar estos grupos de controles y combinaciones en estructuras, que dando cada control con su propia línea de alimentación y salida.

Poco a poco la idea fue agrupar estas mismas combinaciones en gabinetes comunes, con barras principales a las cuales se conectaba la entrada de energía y se distribuía a cada combinación. Este arreglo es al que inicialmente se le dio el nombre de centro de control.

A partir de entonces se fueron introduciendo mejoras en el diseño original, a fin de hacerlo cada vez más funcional y con mayor seguridad para el operador, hasta llegar al diseño actual. Dentro de las características más notables que fueron aumentadas a través del tiempo están:

- construcción de unidades o combinaciones removibles.
- ductos de alambrado.
- aislamiento completo entre unidades.
- y construcción de estructuras estándar.

Los tableros cuentan con una altura de 2.28 metros y un espacio disponible para unidades de 1.80 metros, con un fondo de 51 cm lo que da la posibilidad de montaje en uno o dos frentes.

Las secciones se ofrecen con ducto de alambrado individual en el lado derecho y con diferentes frentes dependiendo de la aplicación y el tipo de equipo instalado. 20", 24", 28", y 32".

### **3.2 PRINCIPIOS GENERALES SOBRE CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS [3]**

Existen algunas condiciones que deben considerarse al seleccionar, diseñar, instalar o dar mantenimiento al equipo de control del motor eléctrico.

El control del motor era un problema sencillo cuando se usaba una flecha maestra común, a la que se le conectaban varias máquinas, porque el motor tenía que arrancar y parar sólo unas cuantas veces al día. Sin embargo, con la transmisión individual el motor ha llegado a ser casi una parte integrante de la máquina y es necesario diseñar el controlador para ajustarse a sus necesidades. Control del motor es un término genérico que significa muchas cosas, desde un simple interruptor de paso hasta un complejo sistema con componentes tales como relevadores, controles de tiempo e interruptores. Sin embargo, la función común es la misma, en cualquier caso: esto es, controlar alguna operación del motor eléctrico. Por lo tanto, al seleccionar e instalar equipo de control para un motor se debe considerar una gran cantidad de diversos factores a fin de que pueda funcionar correctamente junto a la máquina para la que se diseña.

### **3.3 PROPÓSITO DEL CONTROLADOR [2]**

Algunos de los factores a considerarse respecto al controlador, al seleccionarlo e instalarlo, pueden enumerarse como sigue:

1.-) Arranque: El motor se puede arrancar conectándolo directamente a través de la línea. Sin embargo, la máquina impulsada se puede dañar si se arranca con ese esfuerzo giratorio repentino. El arranque debe hacerse lenta y gradualmente, no sólo para proteger la máquina, sino porque la oleada de corriente de la línea durante el arranque puede ser demasiado grande. La frecuencia del arranque de los motores también comprende el empleo del controlador.

2) Paro: Los controladores permiten el funcionamiento hasta la detención de los motores y también imprimen una acción de freno cuando se debe detener la máquina rápidamente. La parada rápida es una función para casos de emergencia.

3) Inversión de la rotación: Se necesitan controladores para cambiar automáticamente la dirección de la rotación de las máquinas mediante el mando de un operador en una estación de control. La acción de inversión de los controladores es un proceso continuo en muchas aplicaciones industriales. Esta puede hacerse por medio de estaciones de botones, un interruptor de tambor o un módulo inversor de giro.

4) Marcha: Las velocidades y características de operación deseadas, son, función y propósito directos de los controladores. Éstos protegen a los motores, operadores, máquinas y materiales, mientras funcionan.

5) Control de velocidad: Algunos controladores pueden mantener velocidades muy precisas para propósitos de procesos industriales, pero se necesitan de otro tipo para cambiar las velocidades de los motores por pasos o gradualmente.

6) Seguridad del operador: Muchas salvaguardas mecánicas han dado origen a métodos eléctricos. Los dispositivos piloto de control eléctrico afectan directamente a los controladores al proteger a los operadores de la máquina contra condiciones inseguras.

7) Protección contra daños: Una parte de la función de una máquina automática es la de protegerse a sí misma contra daños, así como a los materiales manufacturados o elaborados. Por ejemplo, se impiden los atascamientos de los transportadores. Las máquinas se pueden hacer funcionar en reversa, detenerse, trabajar a velocidad lenta o lo que sea necesario para realizar la labor de protección.

8) Mantenimiento de los dispositivos de arranque: Una vez instalados y ajustados adecuadamente, los arrancadores para motor mantendrán el tiempo de arranque, voltajes, corriente y troqué confiables, en beneficio de la máquina impulsada y el sistema de energía. Los fusibles, cortacircuitos e interruptores de desconexión de tamaño apropiado para el arranque, constituyen buenas prácticas de instalación que se rigen por los códigos eléctricos.

### **3.4 DIFERENCIA ENTRE UN CONTROL AUTOMÁTICO Y UNO MANUAL [2]**

Cuando un circuito se considera manual es debido a que una persona debe iniciar la acción para que el circuito opere, usando más comúnmente las estaciones de botones, en cambio uno automático está diseñado para que el circuito arranque solo y que la persona tenga la comodidad de que éste funcionará sin que él tenga que hacer nada, los dispositivos de control automático

pueden ser los interruptores de flotador, de presión o termostatos y su capacidad de contacto debe ser suficiente para conducir e interrumpir la corriente total del motor.

### 3.5 SIMBOLOGÍA [2,9]

#### Definición

Son las representaciones graficas de los componentes de una instalación eléctrica que se usan para transmitir un mensaje, para identificar, calificar, instruir, mandar y advertir.

#### Ventajas

- A su empleo es universal.
- Ahorro de tiempo y dinero en el mantenimiento y reparación de instalaciones o equipos a través de su interpretación de los componentes.
- Facilitar la interpretación de circuitos.
- Permite una comunicación universal entre las personas independientemente del idioma del país.

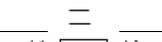
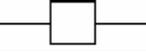
#### Características

- Debe ser lo más simple posible para facilitar su dibujo y evitar pérdida de tiempo en su representación.
- Debe ser claro y preciso.
- Debe indicar esquemáticamente el funcionamiento del aparato en un circuito.
- Deben evitar los dibujos de figuras pictográficas porque los símbolos están destinados para diagramas a circuitos eléctricos.
- El nombre del símbolo debe ser preciso y claro.

A continuación, se indica una tabla con un enlistado de símbolos eléctricos para sistemas de control de máquinas eléctricas.

**Tabla 3.1**  
Simbología de un circuito de control

<b>SIMBOLOGIAS:</b>	<b>DESCRIPCION:</b>
	Transformador con 2 devanados separados
	Auto-transformadores
	Bobina de resistencia
	Transformador de corriente
	Transformador de potencial
	Seleccionador de potencia
	Interruptor
	Seleccionador de fusibles tripolar
	Seleccionador tripolar
	Condensador
	Fusible
	Tierra

	Batería
	Interruptor en gabinete
	Transformador de servicios propios
	Banco de capacitores
	Reactor
	Interruptor
	Contacto normalmente abierto
	Estación de botones normalmente abierto
	Contacto normalmente cerrado
	Fusible
	Estación de botones normalmente cerrado
	Motor
	Resistencia
	Regulador de sobrecarga

### 3.6 ARRANCADORES

Un arrancador es la combinación de todos los medios de conexión y desconexión necesarios para arrancar y para un motor, en combinación con protección de sobrecarga apropiada.

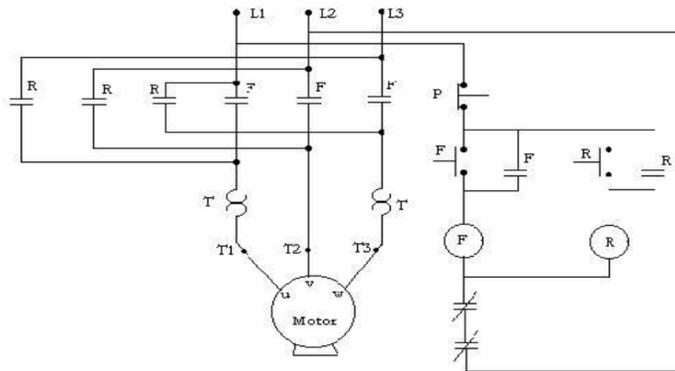
#### 3.6.1 ARRANCADOR A TENSIÓN PLENA

Un arrancador que conecta al motor con la tensión plena de línea a través de sus terminales en un paso es la manera más sencilla de arrancar un motor es conectar el estator directamente a la línea, en cuyo caso el motor desarrolla durante el arranque el par que señala su característica par - velocidad. En el instante de cerrar el contactor del estator, el motor desarrolla el máximo par de arranque y la corriente queda limitada solamente por la impedancia del motor. A medida que el motor acelera, el deslizamiento y la corriente disminuyen hasta que se alcanza la velocidad nominal.

Si el motor arranca a plena carga, el bobinado tiende a absorber una cantidad de corriente muy superior a la nominal, lo que hace que las líneas de alimentación incrementen considerablemente su carga y como consecuencia directa se produzca una caída de tensión. La intensidad de corriente durante la fase de arranque puede tomar valores entre 6 a 8 veces mayores que la corriente nominal del motor.

#### 3.6.2 ARRANCADOR REVERSIBLE.

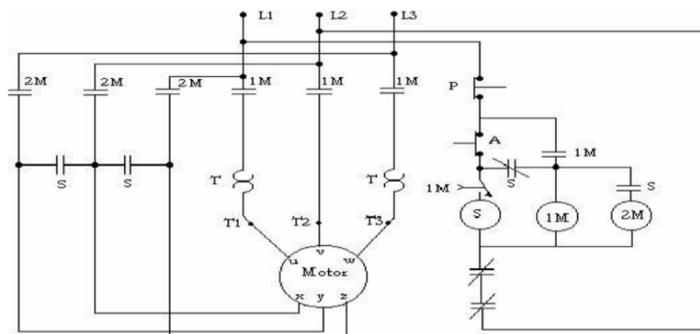
Se usan para inversión de marcha de los motores trifásicos y monofásicos. Se construye usando dos contactores y una estación de botones



**Figura 3.1** Diagrama de un arrancador reversible

### 3.6.3 ARRANCADOR ESTRELLA-TRIÁNGULO

La tensión de fase representa los acoplamientos trifásicos estrella – triángulo en consecuencia el método solo será aplicado a motores trifásicos alimentados por una red trifásica cuyo devanado estático presente sus seis bornes accesibles, los bobinados inicialmente se conectan en estrella, o sea que reciben la tensión de fase de 220 V, y luego se conectan en triángulo a la tensión de línea de 380 V; es decir que la tensión durante el arranque se reduce 1,73 veces. Tanto la corriente como el par de arranque del motor se reducen tres veces, el cambio de conexión se realiza mediante un conmutador manual rotativo de tres posiciones: paro, estrella, triángulo; dispositivos automáticos a base de tres contactores y un temporizador que fija el tiempo del cambio de la conexión estrella a la conexión triángulo a partir iniciarse el arranque, se deben tener en cuenta el pico de corriente que toma el motor al conectar a plena tensión (etapa de triángulo) debe ser el menor posible; por ello, la conmutación debe efectuarse cuando el motor esté cercano a su velocidad nominal (95% de la misma), es decir cuando la corriente de arranque baje prácticamente a su valor normal en la etapa de estrella si el pico de corriente que se produce al pasar a la etapa de triángulo es muy alto, perjudica a los contactores, al motor y a la máquina accionada. El efecto es similar al de un arranque directo.



**Figura 3.2** Diagrama de un arrancador estrella-triángulo

### 3.6.4 ARRANCADOR DE RESISTENCIA

Se arranca el motor mediante la conexión de una resistencia en serie con la línea del motor. Por lo tanto, la velocidad y la corriente de arranque se reducen y las resistencias se pueden desconectar cuando el motor alcance cierta velocidad.

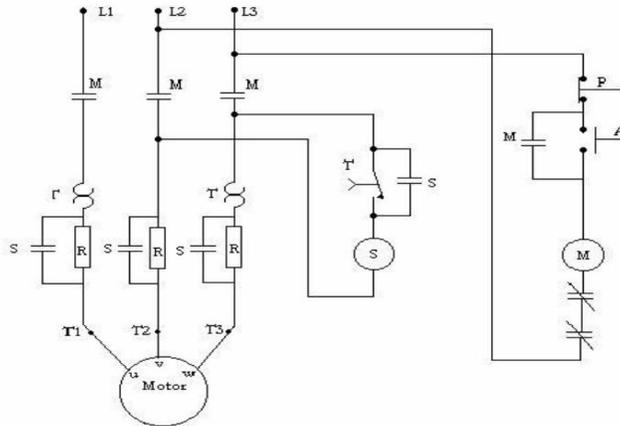


Figura 3.3 Arrancador de resistencia

### 3.6.5 ARRANCADOR MAGNÉTICO

Emplean energía electromecánica para cerrar los interruptores. Se utiliza ampliamente por qué se pueden controlar desde un punto alejado. Generalmente estos arrancadores se controlan con estaciones de botones o relevos de control de tiempo. Se fabrican en muchos tamaños como el 00 (10 Amp) hasta el tamaño 8 de 1350 Amp. A cada tamaño se le ha asignado cierta capacidad en hp. Los arrancadores existen de 2 polos para motores monofásicos y en 3 polos para trifásicos.

Los motores se pueden sobrecargar si el voltaje de entrada está bajo o si se abre una línea en el sistema polifásico (ya que funcionaría como monofásico). Bajo cualquier condición de sobrecarga, un motor toma una corriente excesiva que causa el sobre calentamiento.

Como el aislante del devanando del motor se deteriora cuando se somete a sobre calentamiento, existen límites establecidos para la temperatura de operación del motor. Para protegerlo contra el sobre calentamiento se emplean relevadores de sobrecarga en un arrancador para limitar cierto valor la cantidad de corriente que toma. Esta es la protección contra sobrecarga o de marcha. Los relevadores (magnéticos o térmicos) se sobrecargan actúan para desconectar el arrancador y parar el motor cuando hay sobre corriente.

### 3.7 RELEVADOR DE SOBRECARGA.

Consiste una unidad sensible a la corriente, conectada en la línea, al motor más un mecanismo que actúa por medio de la unidad, que sirve para directa o indirectamente interrumpir el circuito. En un arrancador magnético una sobrecarga abre un juego de contactos que se encuentran en el mismo relevador de sobrecarga. Estos contactos son alambrados en serie con la bobina del arrancador en el circuito de control del mismo. Al abrirse el circuito de la bobina hace que los contactos del arrancador abran desconectando así el motor de la línea. La gran ventaja del uso de

los relés electromagnéticos es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento, la que circula por la bobina del electroimán, y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes o el evadas potencias con pequeñas tensiones de control. También ofrecen la posibilidad de control de un dispositivo a distancia mediante el uso de pequeñas señales de control. El relé o relevador fue inventado por Joseph Henry en 1835. Es un dispositivo electromecánico. 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 eléctrico sin de pendientes.

El relevador de sobrecarga es el corazón de la protección del motor. Como el fusible de doble elemento, un relevador de sobrecarga tiene características del tiempo inverso en el disparo o apertura, permitiendo mantener la conducción durante el periodo de aceleración (cuando se demanda la corriente de arranque), pero dando protección en las pequeñas sobrecargas de la CCP cuando el motor está operando, contrariamente al fusible, el relevador de sobre-carga puede repetir la operación la operación sin necesidad de ser remplazado. Debe enfatizar que el relevador de sobrecarga no provee protección de corto circuito. Esta es una función de un equipo protector de sobre corriente, como son los fusibles e interruptores termo magnético.

Dado que el relevador es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidor es que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea

Se denominan contactos de trabajo aquellos que se cierran cuando la bobina del relé es alimentada y contactos de reposo a los cerrados en ausencia de alimentación de la misma. De este modo, los contactos de un relé pueden ser normalmente abiertos, NA o NO, Normally Open por sus siglas en inglés, normalmente cerrados, NC, Normally Closed, o de conmutación. La lámina central se denomina lámina inversora o de contactos inversores o de conmutación que son los contactos móviles que transmiten la corriente a los contactos fijos

- Los contactos normalmente abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos es ideal para aplicaciones en las que se requiere con mutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.
- Los contactos normalmente cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.
- Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto NA y uno NC con una terminal común

Consiste una unidad sensible a la corriente, conectada en la línea, al motor más un mecanismo que actúa por medio de la unidad, que sirve para directa o indirectamente interrumpir el circuito. En un arrancador magnético una sobrecarga abre un juego de contactos que se encuentran en el mismo relevador de sobrecarga. Estos contactos son alambrados en serie con la bobina del arrancador en el circuito de control del mismo. Al abrirse el circuito de la bobina hace que los contactos del arrancador abran desconectando así el motor de la línea.

### 3.7.1 RELEVADOR SEL-701 [13]

Los relevadores de sobre carga fueron diseñados para proteger motores contra cualquier elevación de corriente que provoque calentamientos excesivos que pudieran dañar el aislamiento de los devanados. Tradicionalmente, los relevadores de sobrecarga más utilizados en la industria han sido los tipos aleación fusible o elemento térmico y los bimetálicos. Con el desarrollo de las nuevas tecnologías, SEL (Schweitzer Engineering Laboratories) SEL introdujo en el mundo el primer relevador digital, revolucionando la industria de la protección de sistemas eléctricos de potencia. Actualmente SEL ofrece relevadores de protección electrónicos, tales como SEL-701 entre otros muchos relevadores sofisticados, SEL ha desarrollado líneas completas de productos para la protección, control, automatización, medición y supervisión de sistemas eléctricos de potencia.

El relé SEL-701 es una protección integral para motores de inducción, que incorpora capacidad de monitoreo, medida, control y reporte. Su diseño robusto y su temperatura de operación de -40°C a 85°C lo hacen aplicable a las condiciones de funcionamiento más severas. Mediante un software amigable, permite la fácil parametrización y ajuste. Dentro de sus funciones de protección, dispone de elementos de desbalance de corrientes, secuencia inversa, protección térmica, protección de sobrecorriente de fases, neutro, residual y protección de sobrecorriente de secuencia negativa, sobre y bajo voltaje, baja potencia, factor de potencia o potencia reactiva y sobre o baja frecuencia. Adicionalmente, dispone de módulo para procesar hasta 11 RTDs, para funciones de control o señalización, lo que puede incrementarse en aplicaciones más complejas, empleando módulo SEL-2600. Provee una amplia gama de reportes, entre los que se destacan los de oscilografía, partidas, tendencia en la partida, estadísticas para mantenimiento, perfil de carga y reporte secuencial de eventos. Soporta protocolo de comunicación Modbus y dispone de puertos de comunicación RS-232, RS-485 y puerta óptica con alcance de 500 metros.

EL relevador SEL-701 utiliza tecnología electrónica integrando una mejor protección para el motor de inducción este relevador incluyendo un sistema de control y monitoreo completo.

**Completa Protección del Motor:** Cuenta con un modelo de protección térmica integrado (patentado). Protección flexible para motores síncronos y de inducción

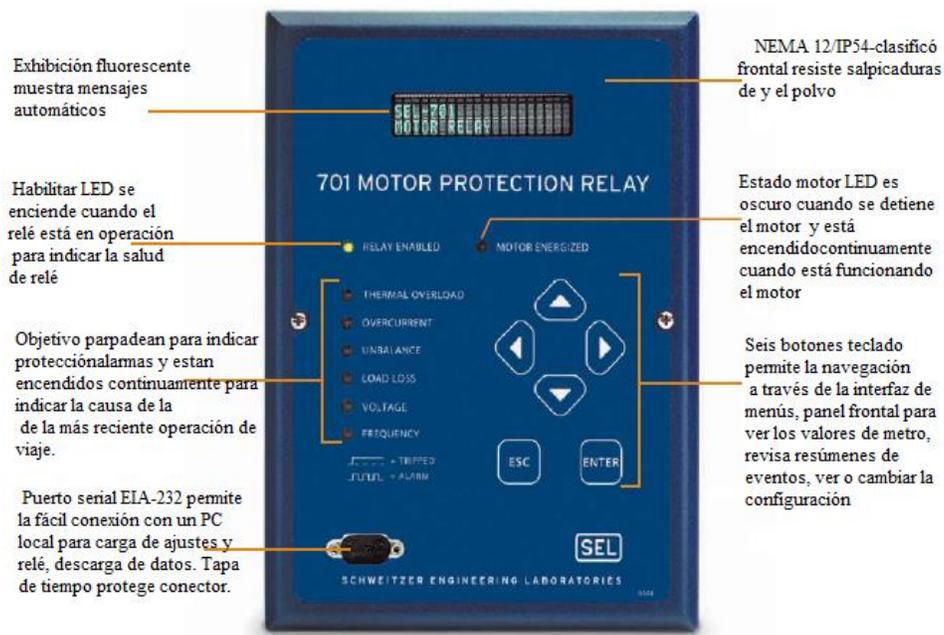
**Reportes de Eventos y Tendencias:** Los completos reportes de los eventos se almacenan en la memoria no volátil: arranque del motor, tendencias del arranque del motor, perfil de carga, Grabación de Eventos Secuenciales (SER) y un completo reporte de eventos.

**RTDs programables:** RTD configurables en el campo desde un panel frontal local o puerto de comunicaciones (ver fig. 3.4)

**Comunicaciones Simples** Las comunicaciones Modbus para el control y monitores remoto o a través de un PLC. Junto con una interfaz binaria/ASCII usando paquetes de comunicaciones fuera de la plataforma (emuladores de terminal) Con un módulo adicional, puede comunicarse a una red Modbus para el control y monitores remoto o a través de un PLC.

## PROTECCIÓN DE MOTORES EN:

- Industria de proceso.
- Tratamiento de agua.
- Sistemas de bombeo.
- Centros de control de motores.
- Arrancadores aislados.



**Figura 3.4** Características del panel frontal del relevador SEL-701

## BENEFICIOS:

- Proteja la mayoría de los motores sincrónicos e inductivos de medio voltaje sin importar los caballos de fuerza de los mismos.
- Adapte el modelo de protección térmica integrado para retener las características térmicas del motor a través de los estados operacionales transitorios (arranque, corriendo, detenido, re arranque)
- Use los completos reportes para confirmar el tamaño del motor, entienda los eventos, programe mantenimiento, detecte tendencias desfavorables, modifique cargas y satisfaga los requerimientos de información del sistema de supervisión.
- Después de seleccionar cada tipo de RTD y ubicación, incluya las entradas RTD como parte del modelo térmico integrado para protección de tendencias.
- Seleccione el módulo RTD externa (SEL-2600A) para eliminar las costosas desconexiones accidentales y reducir el cableado en las terminaciones del relé hasta en un 40%, mientras que adquiera señales RTD claras y una entrada de contacto adicional.
- Adapte el relé SEL-701 en condiciones ambientales desfavorables. Probado en temperaturas desde -40°C hasta +85°C y en una humedad relativa del 95% (no condensación)

- Seleccione entre las 45 curvas estándar de protección de motor, use los datos del rótulo o cree curvas especializadas de acuerdo con los requerimientos únicos de operación del motor.
- Las entradas de voltaje para una información completa de medición y energía
- Revestimiento: Proteja el equipo de ambientes hostiles y contaminantes del aire tales como el sulfuro de hidrógeno, cloro, sal y humedad

**SEL 701 Protección térmica del motor el SEL-701** proporciona rotor bloqueado, la sobrecarga de corriente y secuencia negativa, actual desequilibrio usando un modelo patentado de térmico de protección las cuales son señalizadas bajo el estar de la norma ANSI como se muestra en la tabla 3-2. El elemento térmico pistas con precisión los efectos de la calefacción del desequilibrio de corriente y corriente de carga mientras el motor está acelerando y marcha. se puede elegir entre tres métodos de configuración fácil:

- Motor nominales límite térmico estándar
- 45 curvas de límite térmico estándar
- Ajuste de curva

Para la protección eficaz y sencilla, entrar en la clasificación de la placa para la corriente de carga completa, corriente de Rotor bloqueado, caliente puesto límite de tiempo y Factor de servicio del Motor. Para que el relé pueda emular la protección del motor existente, seleccione la curva de límite térmico adecuado de 45 curvas estándar. Si el motor requiere de una protección más compleja se puede construir su propia curva de límite térmico personalizado introduciendo puntos definiendo la curva. RTD monitoreo entradas extender la protección térmica para incluir la medición directa de la temperatura para proteger los bobinados del motor, así como de los cojinetes del motor y carga. Motores parados pueden refrescar mucho más lentamente debido a la pérdida de refrigerante o flujo de aire. El relé entera de la constante de tiempo de enfriamiento del motor parado al conectar el relé para controlar estator bobinado RTD temperaturas. Habilitar esta función para utilizar el valor aprendido a con precisión pista de enfriamiento cuando el motor se detiene

**SEL 701 Cortocircuito disparo:** fase, secuencia de fase negativa, sobreintensidad de corriente residual y tierra/neutro elementos permiten la SEL-701 detectar el cable y el motor fallas de cortocircuito.

El relé incluye:

- Dos elementos de la sobreintensidad de corriente de fase • dos elementos de la sobreintensidad de corriente residual
- Dos elementos de sobrecorriente de tierra/neutro
- Secuencia negativa una sobrecorriente elementos el relé disparándose instantáneamente o con un intervalo de tiempo definido para condiciones de cortocircuito.

Fácilmente se pueden deshabilitar de las fases los elementos de sobrecorriente para aplicaciones que utilizan un contactor fundido.

**SEL-701 Disparo para condiciones de sobre carga y la pérdida de carga** detección de pérdida de carga proporciona una alarma y detecta la condición de protección de carga viaja una señal al motor rápidamente para evitar el sobrecalentamiento da las condiciones de parada. Detección de

pérdida de carga proporciona una alarma y viaja una señal cuando detecta la condición de la protección de carga el motor para evitar el sobrecalentamiento de las condiciones del puesto. El relé proporciona frecuentes-a partir protección usando configurables arranques por hora y mínimo-tiempo-entre-inicia funciones de protección. El relé almacena datos de partida y termales en memoria no volátil para evitar daños al motor por sobrecalentamiento causados por frecuentes salidas de incluso si se quita energía del relé del motor.

Elementos de protección basada en la tensión el SEL-701 ofrece entradas de tensión opcional que se pueden configurar en cuatro maneras diferentes, incluyendo:

- Un voltaje de fase a fase
- Una tensión de fase a neutro
- Tensiones abierta-delta
- Tensiones cuatro hilos y

Cuando uno o varios voltajes están conectados al relé, proporciona un número de mayor protección del motor y funciones de medición, incluyendo:

- Sobre / baja tensión
- Sobre / bajo frecuencia
- Potencia reactiva de la energía
- Pérdida de potencial

**Tabla 3.2**

Elementos de protección del SEL-701 de acuerdo al estándar de ANSI

ESTANDAR DEL ANSI	NOMBRE DEL ELEMTO
FUNCIÓN ESTANDAR	
46	MOTOR TÉRMICO
47	SOBRECORRIENTE DE FASE
49	MOTOR TERMICO
50P	SOBRECORRIENTE DE FASE
50G	SOBRE CORRIENTE RESIDUAL
50N	NEUTRAL Y SOBREINTENSIDAD
50Q	SOBREINTENSIDAD DE CORRIENTE DE SECUENCIA DEGATIVA
66	ARRANQUES/ HORA, EL TIEMPO ENTRE LOS ARRANQUES
	PERDIDA DE CARGA
	FALLA DE INTERRUPTOR
CON OPCIÓN DE VOLTAJE	
27	BAJO VOLTAJE
37	BAJO PODER
55	FACTOR DE POTENCIA
VAR	POTENCIA REACTIVA
59	SOBRETENSIÓN
60	PERDIDA DE POTENCIAL
81	SOBRE Y BAJA FRECUENCIA

### **3.8 PROTECCIÓN FALLA A TIERRA. [9]**

El conductor de puesta a tierra debe ser de color verde por reglamento de Pemex en los cables de alimentación del equipo previene que los potenciales estáticos alcancen valores peligrosos en las partes que no transportan corrientes, tales como los alojamientos, maletas y cajas de los aparatos eléctricos. Si esas partes no puestas a tierra adecuadamente se pueden acumular carga estática; esta carga puede alcanzar un valor suficientemente grande para descargarse automáticamente, como una chispa de electricidad estática. Esta carga podría ser peligrosa para el paciente o para el personal que lo atiende si enciende algún gas o material flamable, o si produce un choque. Este conductor de puesta a tierra también proporciona una trayectoria para la corriente de fuga, la cual podría ser conducida hacia el gabinete de un aparato eléctrico. La magnitud de esta corriente de fuga depende las características del aparato y de su aislamiento. Si se establece una trayectoria de la corriente a través del paciente, la corriente de fuga podría producir diferencias de potencial entre piezas del equipo y fluir a través de órganos vitales del paciente. Por ejemplo, durante una cateterización cardiaca pequeñas cantidades de corriente podrían causar fibrilación ventricular.

Debido a que la resistencia del conductor de puesta a tierra es extremadamente importante, usted debe considerarla cuidadosamente. La resistencia del cable es inversamente proporcional a su área transversal. El área transversal normalmente se expresa en unidades de AWG (American Wire Gauge). Entre menos sea el número AWG, más grande será el cable. Por ejemplo, el conductor puesta a tierra en un cable de energía es del No. 18 AWG; esto representa alrededor de 0.0064 ohms/pie. Por otro lado, el No. 10 AWG representa solamente 0.001 ohms/pie.

Los reglamentos y normas actuales para la construcción de nuevas áreas de cuidados críticos requieren que no existan más de 40 milivolts (mV) entre el punto de referencia y las superficies del conductor expuestas alrededor del paciente. Esto significa que para una pieza de equipo eléctrico que utilice un conductor de tierra del No. 18 AWG en un cable de alimentación de 15 pies, no se puedan desarrollar más de 416 miliamperes (mA), sin exceder el requerimiento de diferencia de potencial de 40 mV.

Estas fallas se pueden desarrollar a través de componentes internos dañados o aislamiento en malas condiciones del cable de energía. No hay una manera efectiva para prevenir estas fallas; sin embargo, sus magnitudes se pueden mantener en un mínimo mediante el uso de un sistema de energía aislado. Usando el sistema aislado, una falla inicial de línea a tierra se puede mantener en un valor tan bajo como 5 mA, si el sistema esta operado en una condición "segura". El conductor de tierra del cable de energía podría soportar fácilmente una falla de 5 mA y seguir dentro de los requerimientos de NFPA No. 99, del Código Nacional Eléctrico y la Norma Oficial Mexicana.

### **3.9 TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTACIÓN. [5]**

Los transformadores de instrumentación tienen el doble propósito de reducir la tensión o la corriente censado a un nivel compatible con los valores de entrada de los instrumentos disponibles y de proporcionar la seguridad del aislamiento eléctrico de las líneas de alta tensión. Para los amperímetros un valor común es de 5 A. Se encuentran disponibles voltímetros con rangos de hasta 600 V. El principio de operación de los transformadores de instrumentación no es distinto del de los transformadores de potencia; sin embargo, el diseño es conservador desde el punto de vista de la densidad de flujo y de la densidad corriente para que el producto final se aproxime a un transformador ideal. En consecuencia, el error en la aplicación se minimiza.

### 3.9.1 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Los transformadores de corriente se utilizan para tomar muestras de corriente de la línea y reducirla a un nivel seguro y medible, para las gamas normalizadas de instrumentos, aparatos de medida, u otros dispositivos de medida y control.

Los valores nominales de los transformadores de corriente se definen como relaciones de corriente primaria a corriente secundaria. Unas relaciones típicas de un transformador de corriente podrían ser 600 / 5, 800 / 5, 1000 / 5. Los valores nominales de los transformadores de corriente son de 5 A y 1 A.

El primario de estos transformadores se conecta en serie con la carga, y la carga de este transformador está constituida solamente por la impedancia del circuito que se conecta a él.

Los tipos de construcción de transformadores de corriente son:

- Tipo primario devanado: Consta de dos devanados primarios y secundarios totalmente aislados y montados permanentemente sobre el circuito magnético.
- Tipo barra: Es similar al tipo primario devanado, excepto en que el primario es un solo conductor recto de tipo barra.
- Tipo toroidal (ventana): Tiene un devanado secundario totalmente aislado y montado permanentemente sobre el circuito magnético y una ventana a través de la cual puede hacerse pasar un conductor que proporciona el devanado primario.
- Tipo para bornes: Es un tipo especial toroidal proyectado para colocarse en los bornes aislados de los aparatos, actuando el conductor del borne como devanado primario.

Los transformadores de corriente se clasifican de acuerdo con el aislamiento principal usado, como de tipo seco, rellenos de compuestos, moldeados o en baño de líquido.

Circuito equivalente: El circuito equivalente de un transformador de corriente es el siguiente:

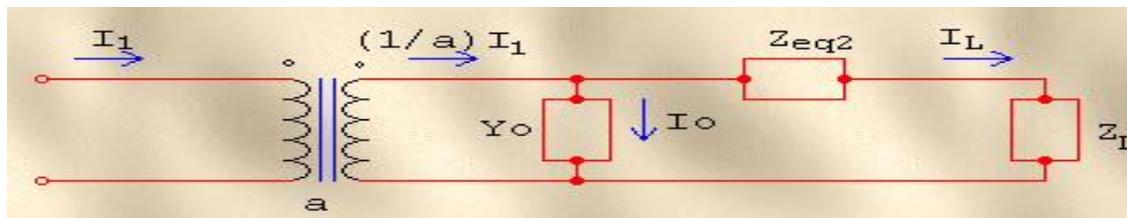


Figura 3.5 circuito equivalente de un TC

Dónde: admitancia de excitación.

$Z_2$ : Impedancia de carga.

$Z_{eq}$ : Impedancia equivalente referida al secundario.

La inducción normal máxima en el Fe es muy baja, para trabajar linealmente y producir pérdidas magnéticas despreciables (la corriente de excitación "Io" es muy pequeña). La impedancia equivalente referida al secundario coincide prácticamente, con la impedancia de dispersión del secundario dado que el primario suele ser solo una barra.

Como este factor es un número complejo existe la presencia de un error de ángulo y un error de fase. Clasificación de los errores: Los errores en un transformador de corriente varían con la

tensión para la carga conectada en bornes de los terminales secundarios y el valor de la corriente secundaria.

A continuación se enuncian dos tipos de normas que especifican la precisión de los transformadores de corriente:

- a. Norma ASA Americana.
- b. Norma VDE Alemana.

**a. Norma ASA Americana:**

Esta norma hace una diferencia en la clase de precisión de los transformadores de corriente para el servicio de medición y protección.

a.1) Clase de precisión para el servicio de medición: Están definidas por los límites de error, en porcentaje de los factores de corrección del transformador para una corriente nominal secundaria del 100%. Los límites en porcentaje se doblan al 10% de corriente nominal, los límites de corriente del 100% se aplican también a la corriente secundaria correspondiente al valor de corriente térmica continua máxima del transformador de corriente

Las clases y límites de precisión definidas en las normas ASA pueden verse en la siguiente tabla.

**Tabla 3.3**

Límites del factor de corrección del transformador de corriente para el servicio de medición.

Clase de Precisión	Límites del factor de corrección del transformador				Límites del factor de potencia (inductivo) de la línea que se mide
	100% de la corriente nominal		10% de la corriente nominal		
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
1.2	0.988	1.012	0.976	1.024	0.6 - 1.0
0.6	0.994	1.006	0.988	1.012	0.6 - 1.0
0.3	0.997	1.003	0.994	1.006	0.6 - 1.0

**Tabla 3.4**

Cargas normalizadas para el transformador de corriente normalizadas con el secundario de 5 A.

Designación de la carga	Características de la carga normalizada		Impedancia normalizada de la carga secundaria en ohms					
	Resistencia	Inductancia	Para 60 Hz y corriente secundaria de 5 A			Para 25 Hz y corriente secundaria de 5 A		
	ohm	H	Impedancia	V*A	F.P	Impedancia	V*A	F.P
			ohm			ohm		

B-0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9	0.0918	2.3	0.98
B-0.2	0.18	0.232	0.2	5	0.9	0.1836	4.6	0.98
B-0.5	0.45	0.58	0.5	12.5	0.9	0.459	11.5	0.98
B-1	0.5	2.3	1	25	0.9	0.617	15.4	0.81
B-2	1	4.6	2	50	0.9	1.234	30.8	0.81
B-4	2	9.2	4	100	0.9	2.468	61.6	0.81
B-8	4	18.4	8	200	0.9	4.936	123.2	0.81

Nota: Los valores de resistencia y de la inductancia, indicadas corresponden a transformadores de corriente con el secundario de 5 A. Para otros valores nominales pueden deducirse las cargas correspondientes de la tabla 3.3. La resistencia y la inductancia varían inversamente con el cuadrado de la variación de corriente nominal. Por ejemplo, para un transformador con el secundario de 1 A la carga tendría 25 veces la resistencia e inductancia mostrada en la tabla 3.4 Por lo tanto para especificar completamente un transformador de corriente para el servicio de medición debe comprender las categorías de precisión de tabla 1, seguidas por la designación de la carga indicada en tabla 3.4

Por ejemplo, "0.3B-0.2" describe un transformador de categoría de precisión 0.3 cuando este tiene una carga B-0.2 en los terminales secundarios.

a.2) Clase de precisión normalizada para protecciones: Las normas ASA han establecido las clasificaciones de precisión de los transformadores de corriente para el servicio de protecciones, que consta de 3 factores: el límite de error de relación porcentual, la clase de funcionamiento del transformador y el valor nominal de la tensión en los bornes del secundario.

- Límite de error porcentual: Los porcentajes máximos de error en la relación de transformación son de 2.5 y 10%. Esta es la clase de precisión normalizada.

- Valor nominal de tensión en bornes del secundario: Los valores establecidos de tensión en el secundario son: 10, 20, 50, 100, 400, y 800, correspondiente a cargas normalizadas USA de 100 A.

- Clase de funcionamiento: Se designa con la letra L o H.

L (baja impedancia): Indica un transformador de corriente que es capaz de funcionar con cualquier tipo de carga conectada hasta, incluso, una carga que produzca la clase de precisión de la tensión de bornes del secundario a 20 veces la corriente nominal secundaria, para una gama de corrientes que van desde la nominal hasta 20 veces la corriente secundaria nominal, sin exceder la clase de precisión del límite de error porcentual.

H (alta impedancia): Indica un transformador de corriente que es capaz de producir cualquier tensión de bornes del secundario hasta, inclusive, la clase de precisión de la tensión con cualquier corriente secundaria para la gama de 5 a 20 veces la corriente nominal secundaria, sin exceder la clase de precisión del límite de error porcentual.

Por lo anterior para especificar completamente un transformador de corriente para el servicio de protección, se debe designar por su clase de precisión, tipo y tensión máxima secundaria. Estos valores definen completamente su comportamiento. Por ejemplo, un transformador de corriente 2.5H800, indica un transformador con clase de precisión de 2.5%, clase de funcionamiento H y tensión máxima secundaria en bornes secundarios de 800 V.

#### **b.- Norma VDE Alemana:**

A diferencia de las normas ASA, en estas normas no se hace un tratamiento diferenciado entre transformadores de corriente para medida y protección. La única diferencia entre ellos es la clase de precisión y el índice de sobrecorriente.

Las clases de precisión para protecciones son 1 y 3 para transformadores de hasta 45 KV y 1 para 60 KV hacia arriba.

En la clase 1 se garantiza esta precisión para corrientes entre 1 y 1,2 veces la corriente nominal, y para cargas secundarias entre el 25% y 100% la nominal con F.P 0,80.

En la clase 3 se garantiza esta precisión para corrientes entre 0,5 y 1 veces la nominal, y para cargas entre el 50 y 100% la nominal con F.P 0,8. Finalmente, el índice de sobrecorriente, se define como el múltiplo de la corriente primaria para el cual el error de transformación se hace igual a 10% con la carga nominal.

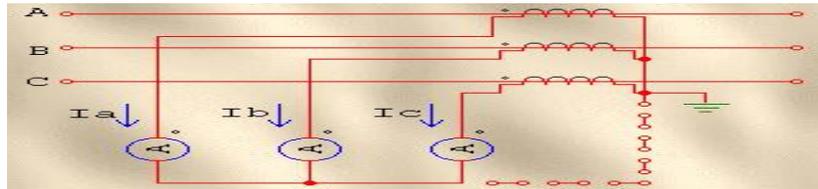
Causa de errores: Los errores en un transformador de corriente son debidos a la energía necesaria para producir el flujo en el núcleo que induce la tensión en el devanado secundario que suministra la corriente a través del circuito secundario. Los amperevuelatas totales disponibles para proporcionar la corriente al secundario son iguales a los amperevuelatas del primario menos los amperevuelatas para producir el flujo del núcleo.

Un cambio en la carga secundaria altera el flujo requerido en el núcleo y varía los amperevuelatas de excitación del núcleo; el flujo de dispersión en el núcleo cambia las características magnéticas del mismo y afecta a los amperevuelatas de excitación.

Precauciones de seguridad: El devanado secundario siempre debe estar cortocircuitado antes de desconectar la carga. Si se abre el circuito secundario con circulación de corriente por el primario, todos los amperevuelatas primarios son amperevuelatas magnetizantes y normalmente producirán una tensión secundaria excesivamente elevada en bornes del circuito abierto. Todos los circuitos secundarios de los transformadores de medida deben estar puestos a tierra; cuando los secundarios del transformador de medida están interconectados; solo debe ponerse a tierra un punto. Si el circuito secundario no está puesto a tierra, el secundario, se convierte, de hecho, en la placa de media de un condensador, actuando el devanado de alta tensión y tierra como las otras dos placas.

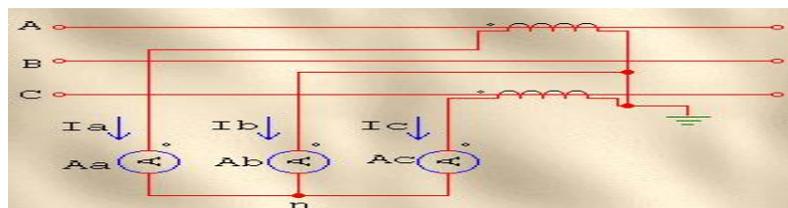
#### **Conexiones trifásicas**

Es practica universal utilizar un transformador de corriente por fase, tres transformadores de corriente para un sistema trifásico, en este caso los secundarios se conectan en estrella con el nutro sólidamente a tierra, tal como se ilustra en la siguiente figura 3.6



**Figura 3.6** Conexión trifásica del TC

Si el circuito de potencia es un circuito de 3 hilos sin hilo neutro, la suma instantánea de las tres corrientes de línea que circulan por los primarios hacia la carga, y por lo tanto, la suma de las corrientes del secundario también debe ser nula si los tres transformadores son iguales. En consecuencia puede suprimirse la conexión entre el neutro de los secundarios conectados en estrella y el de los amperímetros, señalada en la figura con línea de trazos. En cambio, esta conexión es necesaria cuando el circuito tiene un hilo neutro. También se puede utilizar la siguiente conexión de la siguiente figura 3.7



**Figura 3.7** Conexión del TC con hilo neutro

Los amperímetros Aa y Ac estén directamente en serie con los dos transformadores de corriente, y por lo tanto, indican las intensidades de las corrientes que circulan por las líneas A y C. La primera ley de Kirchoff aplicada al nudo n, da como relación entre las corrientes de los secundarios.

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (3.1)$$

Como  $I_a$  e  $I_c$  son proporcionales a las intensidades de las corrientes de línea de los primarios  $I_a$  e  $I_c$  respectivamente, la intensidad  $I_b$  que señala el amperímetro  $A_b$  es proporcional también a la intensidad  $I_B$  de la corriente del primario si es nula la suma de intensidades de las corrientes de primario, como debe ocurrir si el circuito de potencia es un circuito de 3 hilos.

### 3.9.2 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

Es un transformador devanado especialmente, con un primario de alto voltaje y un secundario de baja tensión. Tiene una potencia nominal muy baja y su único objetivo es suministrar una muestra de voltaje del sistema de potencia, para que se mida con instrumentos incorporados. Además, puesto que el objetivo principal es el muestreo de voltaje deberá ser particularmente preciso como para no distorsionar los valores verdaderos. Se pueden conseguir transformadores de potencial de varios niveles de precisión, dependiendo de qué tan precisas deban ser sus lecturas, para cada aplicación especial.

El enrollado primario de un transformador de potencial se conecta en paralelo con el circuito de potencia y en el secundario se conectan los instrumentos o aparatos de protección. Estos transformadores se construyen para todas las tensiones de circuitos normalizados. Normalmente son de tipo seco o moldeado para tensiones inferiores a 23 KV y en baño de líquido para tensiones superiores.

## Circuito equivalente.

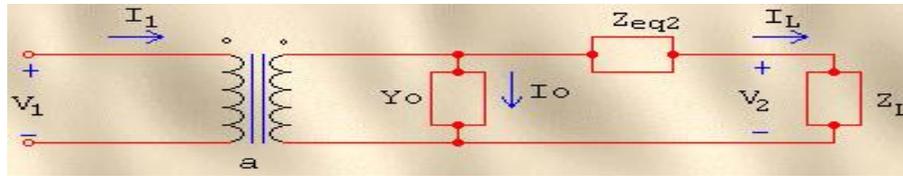


Figura 3.8 Circuito equivalente de un TP

Los transformadores de potencial se comportan en forma similar a un transformador convencional de dos bobinas. Por lo tanto el circuito equivalente referido al secundario es el siguiente.

$Z_{eq2}$  = Impedancia equivalente, referida al secundario.

$Z_L$  = Impedancia del instrumento (vólmetro, similar).

$V_2$  = Tensión secundaria que deberá ser fiel reflejo de la primaria.

$Y_0 \gg 0$

La ecuación de malla en el secundario es:

$$V_1/V_2 = I_L Z_{eq2} + V_2 I_L = V_2/Z_2 \quad (3.2)$$

Debido a que ese valor es un número complejo, se observa que existe un error de magnitud y un error de fase.

## Errores en los transformadores de potencial

En los transformadores de potencial existen 2 tipos de errores que afectan a la precisión de las medidas hechas con transformadores de potencial.

**Error de relación:** Es la diferencia entre la relación verdadera entre la tensión del primario y secundario y la relación indicada en la placa característica.

**Error de ángulo:** Es la diferencia en la posición de la tensión aplicada a la carga secundaria y la tensión aplicada al devanado primario. El error de ángulo se representa con el símbolo ( $g$ ), está expresado en minutos y se define como positivo cuando la tensión aplicada a la carga, desde el terminal secundario marcado al no marcado, está adelantada respecto a la tensión aplicada al primario desde el terminal marcado al no marcado. En el transformador de potencial interesa que los errores en la relación de transformación y los errores de ángulo entre tensión primaria y secundaria se mantengan dentro de ciertos límites. Esto se obtiene sobredimensionando tanto el núcleo magnético como la sección de los conductores de los enrollados.

La magnitud de los errores depende de la característica de la carga secundaria que se conecta al transformador de potencial.

Para su clasificación desde el punto de vista de la precisión (error máximo en la relación de transformación) las diversas normas sobre transformador de potencial exigen que los errores se mantengan dentro de ciertos valores para determinadas características de la carga.

a) Norma Americana ASA

Estas normas han clasificadas características de precisión de los transformadores para el servicio con aparatos de medición. La clase y límites de precisión definidas por norma ASA, pueden verse en la tabla 3.5 y 3.6

**Tabla 3.5**  
Carga normalizada para transformadores de potencial

Designación de la carga	Volt amperes secundarios	Factor de potencia de la carga
W	12.5	0.1
X	25	0.7
Y	75	0.85
Z	200	0.85
ZZ	400	0.85

**Tabla 3.6**  
Límites del factor de corrección del transformador de potencial

Clase de Precisión	Límites del factor de corrección del transformador		Límites del factor de potencia de la carga medida (en retardo)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1.2	0.988	1.012	0.6	1
0.6	0.994	1.006	0.6	1
0.3	0.997	1.003	0.6	1

Finalmente, con esta normalización los transformadores de potencial se designan por la clase de precisión y la letra correspondiente a la carga normalizada para la cual se garantiza la precisión. En un transformador designado 0,6W, el error máximo de la relación de transformación no sobrepasa un 0,6% de la razón nominal, con un factor de potencia 0,1 y al variar la tensión entre 10% más y 10% menos de la nominal.

#### b) Norma Alemana VDE

Esta norma VDE, normaliza para cada clase de precisión, la capacidad de los enrollados del transformador de potencial en VA.

Las clases de precisión son 3-1-0,5-0,2-0,1 y ella debe mantenerse para cuando el voltaje primario no varíe más allá del 20% sobre su tensión nominal, excepto en los de clase 3 en que se garantiza solo para su tensión nominal

**Tabla 3.7**  
Errores máximos admisibles para transformadores de potencial

Clase de exactitud	Rango de voltaje primario	Error máximo de voltaje	Error máximo de fase
0.1	0.8 - 1.2 Vn	± 0.1%	± 5min

0.2	0.8 - 1.2 Vn	± 0.2%	± 10min
0.5	0.8 - 1.2 Vn	± 0.3%	± 20min
1	0.8 - 1.2 Vn	± 1.0%	± 40min
3	1.0 Vn	± 3.0%	

Con respecto al voltaje secundario nominal están normalizados

Para conectar transformadores de potencial en forma trifásica se usan dos tipos de conexiones usualmente, estas son:

- a. Conexión estrella-estrella: Se utiliza cuando se requiere neutro en el secundario.
- b. Conexión en V: Esta conexión se utiliza cuando no se requiere neutro secundario, es más económica ya que se requiere solo dos transformadores de potencial.

### 3.10 TRANSFORMADOR DE CONTROL. [9]

Transformadores de control con capacidades desde 15VA's hasta 5000 VA'S, con devanados de cobre, tipo abierto. Monofásicos. Tensiones en el primario de 240 ó 480 Vc.a. Y en el secundario 120 Vc.a. Con excelentes regulación y gran capacidad para soportar las corrientes de magnetización asociadas a los contactores arrancadores y relevadores.

Para satisfacer estas necesidades los la transformadores de control clase 9070, los cuales satisfacen ampliamente los requerimientos de los sistemas de control.

Aplicación y beneficios del producto:

Las principales aplicaciones son en la industria en general básicamente para alimentar circuitos con tensiones de 120 Vc.a. Que soportan circuitos de control de:

- Relevadores.
- Contactores.
- Arrancadores.
- Solenoides.

Transformadores de control altamente confiables gracias a su baja impedancia, excelente regulador de voltaje y gran capacidad para soportar las corrientes de magnetización de las cargas asociadas.

Característica:

Transformador de control

- Monofásicos.
- Capacidades desde 15 a 5000 VA'S.
- Devanados de cobre.
- Aplicable en cualquiera de las siguientes relaciones de transformación.  
240/480 en el primario y 120 Vc.a. En el secundario.  
220/440 en el primario y 110 Vc.a. En el secundario.  
230/460 en el primario y 115 Vc.a. En el secundario
- Tipo abierto.

- Sistema de aislamiento de acuerdo a cada capacidad.  
25-150VA con aislamiento clase 105°C para una sobreelevación de temperatura de 55°C.  
200-350VA con aislamiento clase 130°C para una sobreelevación de temperatura de 80°C.  
500-5000VA con aislamiento clase 180°C para una sobre elevación de temperatura de 115°C.
- Cumple o exceden las normas NOM, UL, CSA.

Tabla de selección:

**Tabla 3.8**  
Transformadores de control clase 9070

VA'S	Catálogo	Dimensiones					
		Alto mm-plg.		Ancho mm-plg.		Fondo mm-plg.	
25	9070T25D1	66	2.5	76	3	79	3
50	9070T50D1	66	2.5	76	3	79	3
75	9070T75D1	74	2.9	86	3.4	85	3.3
100	9070T100D1	74	2.9	86	3.4	85	3.3
150	9070T150D1	81	3.2	95	3.8	91	3.6
200	9070T200D1	81	3.2	95	3.8	91	3.6
250	9070T250D1	83	3.3	95	3.8	133	5.2
300	9070T300D1	97	3.8	114	4.5	119	4.7
350	9070T350D1	97	3.8	114	4.5	129	5
500	9070T500D1	97	3.8	114	4.5	139	5.5
750	9070T750D1	113	4.4	133	5.3	144	5.7
1000	9070T1000D1	113	4.4	133	5.3	153	6
1500	9070T1500D1	157	6.2	179	7	148	5.8
2000	9070T2000D1	157	6.2	179	7	179	7
3000	9070T3000D1	215	8.5	229	9	174	6.9
5000	9070T5000D1	215	8.5	229	9	222	8.7

### 3.11 CABLES ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN. [11]

Se puede definir como conductor eléctrico aquel componente de un sistema, capaz de permitir el paso continuo de una corriente eléctrica cuando es sometido a una diferencia de potencial entre dos puntos. En general, toda forma de materia en estado sólido o líquido posee en algún grado propiedades de conductividad eléctrica, pero determinados materiales son relativamente buenos conductores y otros están casi totalmente desprovistos de esta propiedad.

Como ejemplo, los metales son los mejores conductores, mientras que otras sustancias tales como óxidos metálicos, sales, minerales, y materiales fibrosos presentan una conductividad relativamente baja. Algunas otras sustancias tienen una conductividad tan baja que se clasifican como no conductores denominándose con mayor propiedad dieléctricos o aislamientos eléctricos.

Los conductores eléctricos se utilizan para permitir el paso de una corriente eléctrica entre dos puntos con diferente potencial eléctrico. Cuando se presenta este paso de corriente eléctrica se dice que se ha establecido un circuito; el cual se puede definir por medio de cuatro propiedades eléctricas fundamentales: RESISTENCIA, INDUCTANCIA, CAPACITANCIA Y RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

En general y para nuestros fines, un conductor eléctrico consta de un filamento o alambre, de una serie de alambres cableados y/o torcidos, de material conductor, que se utiliza desnudo, o bien cubierto con material aislante. En aplicaciones donde se requieren grandes tensiones mecánicas se utilizan bronce, acero y aleaciones especiales. En aplicaciones electrónicas ultra finas y en

pequeñas cantidades, se utilizan el oro, la plata y el platino como conductores. Características del conductor (ver figura 3.9)

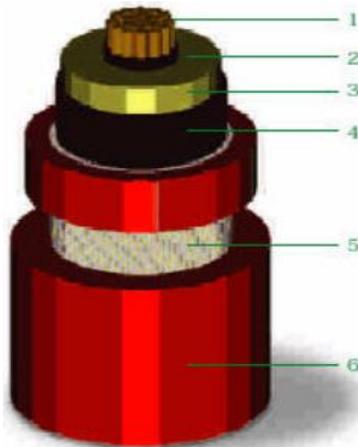
Energía

6/10 KV 8.7/15 KV 12/20 KV 15/25 KV 18/30KV

Normas

UNE-21123 UNE-21147.2 IEC-754.2 IEC-502

UNE-21147.1 ICE-754.1 RU-3305-C



**Figura 3.9** Características del conductor

## CONSTRUCCIÓN

1.- Conductor:

Cobre recocido clase 2. Aluminio clase 2.aluminio clase 2 obturado, (tipo OL, de RU 3305-c 1er. Complemento)

## TRIPLE EXTRASIÓN

2. Semiconductor interior: Compuesto semiconductor reticulado

3. Aislamiento: Polietileno reticulado (XLPE).

4. Semiconductor exterior: compuesto semiconductor reticulado.

5. Pantalla: Hilos de cobre. Obturación longitudinal. W.B. (Watter blocking),

6. Cubierta: Poliolefina (Z1).

Los cables de energía con pantalla de plomo se utilizan principalmente en la alimentación y distribución primarias de energía eléctrica, en plantas industriales donde las características ambientales son particularmente agresivas (refinerías, plantas químicas, etc.), o donde se requiera la protección contra el ingreso de humedad o agentes externos que las pantallas continuas de plomo proporcionan. Pueden instalarse en ductos o charolas, en conduit o directamente enterrados.

### 3.11.1 EMPALMES Y TERMINALES TERMORRETRÁCTILES.

Aplicando la experiencia de los polímeros irradiados en la Industria de los cables de distribución de energía, se consigue una amplia gama de accesorios termorretráctiles para cables de MT y BT. La obtención de un material plástico termorretráctil se realiza mediante una radiación electrónica previa, con la que se consigue su reticulación.

Expandiendo ese material una vez irradiado, a una cierta temperatura, con enfriamiento posterior y manteniendo la deformación, se consigue el efecto de «memoria elástica», de tal forma que el material recobra su forma primitiva tras una simple aportación de calor.

La característica termorretráctil presenta las cualidades siguientes:

- Debido a su contracción, un mismo material puede adaptarse a diferentes tamaños de cables.
- La reticulación confiere al material una estabilidad frente a agentes externos.
- Facilidad de instalación, ya que quedan perfectamente adaptados con un simple aporte de calor.

### 3.11.2 INSTALACIÓN.

La facilidad de instalación de los materiales termorretráctiles les hace ser utilizados en todo el mundo, ya que pueden ser instalados en cualquier situación sin más que aportar calor. Los materiales termorretráctiles, ya sean tubos o piezas moldeadas, se contraen con la aplicación de calor por medio de un soplete o aire caliente, consiguiéndose una adaptación perfecta del material al cable. En el procedimiento de ejecución, únicamente hay que colocar el material en su posición final y aportarle calor, hasta conseguir una perfecta contracción moviendo constantemente la fuente de calor para que no se produzca sobrecalentamiento y enfocándola de forma que se precaliente la zona próxima a contraer. El sistema de empalme se basa en un tubo co-extruido con dos capas, una de ellas de material elastomérico pretensado (aislamiento) y la otra de material termorretráctil (semiconductor).

#### **Terminaciones termorretráctiles.**

Las terminaciones termorretráctiles para cables de MT son utilizadas en cualquier tipo de cable, ya que sus componentes permiten obviar las posibles tolerancias de los mismos, a la vez que proporcionan facilidad de montaje. Una de las propiedades más características de estas terminaciones de cables es su carácter sellante antihumedad, gracias a la utilización de un adhesivo especial que no forma camino de carbón bajo ningún tipo de polución.

Otro tipo de terminaciones son los terminales enchufables, los cuales tienen su mayor aplicación en las cabinas de los centros de transformación. Este sistema enchufable es de diseño compacto y no incrementa la longitud total del terminal. Las características que presentan estos terminales son:

Posibilidad de instalación en interior y exterior, así como en posición vertical, en ángulo o invertida.

-Para su montaje no son necesarias herramientas especiales ni encintado ni materiales de relleno.

- No se precisa mantener distancias mínimas entre fases.
- La conexión se puede poner en tensión inmediatamente después del montaje.
- Los terminales pueden aplicarse sobre cables de cualquier tipo, como: polietileno, polietileno reticulado, etileno-propileno y cables de papel impregnado.
- Se utilizan en conductores de cobre y aluminio.

- Un divisor de tensión capacitivo incorporado permite comprobar si la línea está en tensión.
- La tensión máxima de funcionamiento es de 24 kv, con intensidades de 250-400 A.

Existen tres tipos de terminaciones enchufables, que son: rectos, acodados y las terminales retráctiles en frío

El sistema de terminales retráctiles en frío se basa en una sola pieza que une aislamiento y control del campo eléctrico, realizada sobre un núcleo pretensado, lo que permite su utilización en cualquier situación de forma fácil, rápida y segura, sin ningún equipo y herramienta.

El sistema se ha diseñado para cables de aislamiento seco y de papel impregnado hasta tensiones de 45 kV, instalados bien en exterior o en interior. El aislamiento de los terminales está realizado de un caucho de silicona, resistente a las corrientes superficiales y al efecto corona, el cual proporciona un mejor funcionamiento en atmósferas húmedas y de alta contaminación. La silicona posee una propiedad que la hace única y es la de rechazar el agua, ya que su elevada tensión superficial provoca que el agua en la superficie del aislador forme gotas en vez de láminas. Esto, unido a que es un material altamente flexible, hace que se adapte a cualquier curvatura del cable, proporcionando un efecto de sellado de alta fiabilidad.

-El procedimiento de realización de este termina! consiste en, una vez preparado el cable, situar la pieza sin ningún esfuerzo y retirar manualmente la cinta que compone el núcleo interior, con lo que se retrae en frío adaptándose perfectamente al cable, sin dejar huecos intermedios y garantizando un cierre estanco.

### **3.11.3 PROCESO DE INSTALACIÓN DE TERMINAL DE INTERIOR EN FRÍO.**

1º) Se retira la cubierta del cable una longitud. A es un parámetro característico de cada producto y B es la longitud del borne de conexión.

$$A+B + 5mm \quad (3.3)$$

2º) Se doblan hacia atrás los hilos de la pantalla, se debe hacer con cuidado doblándolos uno a uno para que se mantenga constante la longitud calculada en el apartado anterior. Luego se sujetan con un alambre.

3º) Se retira la pantalla semiconductor, hay que dejar 35mm descubiertos por delante de la cubierta del cable.

4º) Se retira el aislamiento primario en la longitud

$$B+5mm \quad (3.4)$$

5º) Se coloca y se punzona (aluminio) o se presiona (cobre) el borne de conexión: Se redondean las aristas y se limpian todas las rebadas sobre el aislamiento primario y el borne.

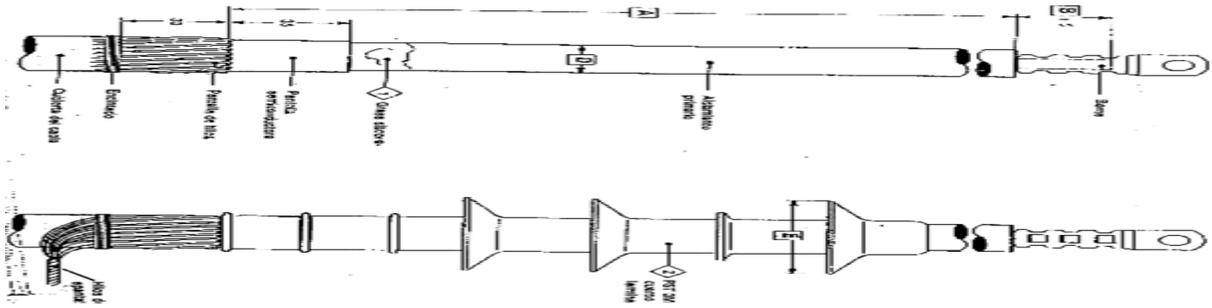
6º) Se aplica la grasa de silicona sobre el aislamiento primario en el borde de la capa semiconductor.

**Tabla 3.9**

Tabla de selección del conductor

Tabla de selección. Dimensiones				
Producto	5601	5602	5603	5604
Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) 12/20 kv	25-120	95-240	240-630	630-800
Dimensión A mm	230	230	230	230
Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) 15/25 kv	35-95	35-185	150-500	630
Dimensión A mm	260/260	260	260	260
Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) 18/30 kv	--	35/150	150-500	630
Dimensión A mm	--	300	300	300
Diámetro sobre aislamiento primario D (mm)	16.0-28.5	21.3-35.0	27.0-49.0	33.0-53.0
Diámetro del terminal E (mm)	68	70	82	90

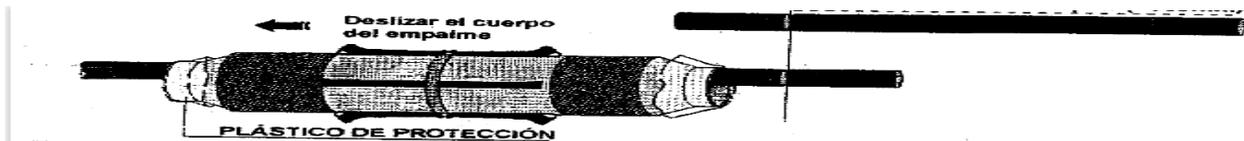
7º) Se introduce el terminal, se coloca en posición y se va retirando la cinta hasta que comience la contracción. El aislamiento se debe colocar en el comienzo de los hilos de la pantalla (ver figura 3.10)



**Figura 3.10** Ilustración de las terminales de un conductor.

### 3.11.4 PROCESO DE INSTALACIÓN DE UN EMPALME EN FRÍO.

- 1º) Se posicionan los cables a empalmar de forma que se crucen y se cortan perpendicularmente.
- 2º) Se limpia la cubierta de los cables en una longitud aproximada de 600mm.
- 3º) Se tensan los extremos del soporte interior del empalme para facilitar su introducción sobre el cable.
- 4º) Se enfilea el cuerpo del empalme en uno de los cables.



**Figura 3.11** Empalme del conductor.

Corte de la cubierta, semiconductor y aislamiento:

- 5º) Se retira la cubierta de los cables en una longitud de 240mm.
- 6º) Se corta el fleje en contra espira a ras de cubierta.

- 7º) A 50mm del corte de la cubierta, se corta y se retira la capa semiconductor externa.  
 8º) Se corta y retira el aislamiento del cable en una longitud de A mm a partir de los extremos del cable.

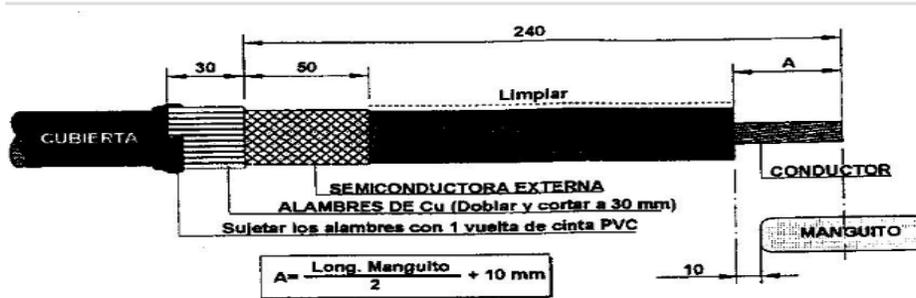


Figura 3.12 Ilustración de corte de La cubierta.

Unión de los conductores:

- 9º) Se posiciona el manguito de unión y se realiza la compresión.  
 10º) Se comprueba la cota después de la unión.

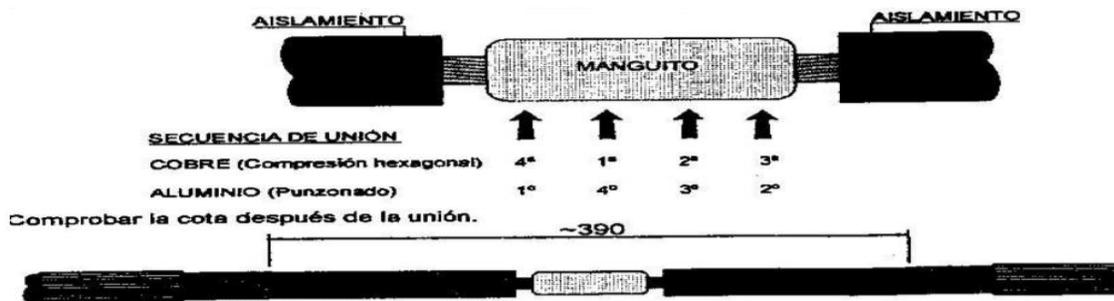


Figura 3.13 Ilustración de las uniones de los conductores

Posicionado del cuerpo del empalme:

- 11º) Se retira el plástico de protección interior.  
 12º) Se coloca el cuerpo del empalme, verificando que las cotas sean iguales.

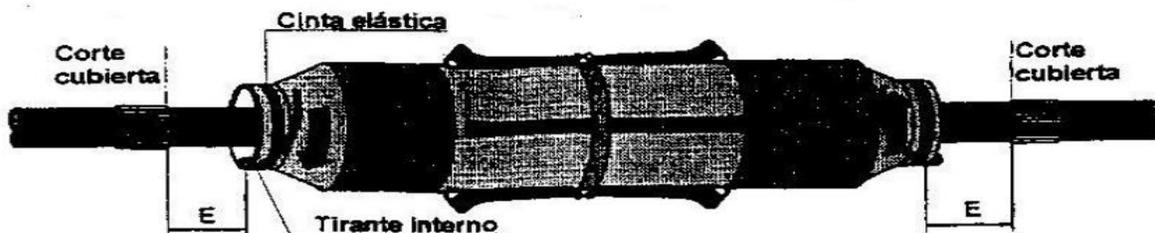


Figura 3.14 Posición del cuerpo del conductor.

Desdoblado del empalme:

- 13º) Se tiran de los tirantes para despegar la funda externa de la envolvente. Luego se tira longitudinalmente haciendo deslizar la funda externa sobre si misma hasta recubrir el encintado de estanquidad.

14°) Se procede de la misma forma en el otro lado del empalme.

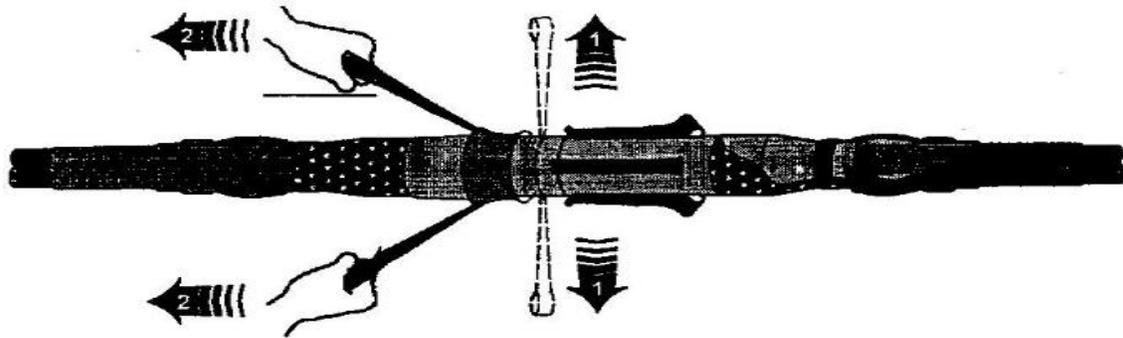


Figura 3.15 Empalmado del conductor

## **CAPITULO IV**

# **INTEGRACIÓN ELÉCTRICA DEL MOTOR DEL COMPRESOR DE AIRE K-101f DE LA PLANTA DE FUERZA Y SERVICIOS PRINCIPALES**

## 4.1 MONTAJE DE LA UNIDAD BÁSICA SEL-701 [13]

Desconectar o desactivar todas las conexiones externas antes de abrir el cubículo donde se instalara el relé SEL 701 para evitar posibles contactos con tensiones peligrosas y corrientes dentro de este dispositivo que podrían provocar una descarga eléctrica y causar lesiones o la muerte, Presentar el producto como se indica verificando que la chapa de soporte encaje correctamente en la ranura en Las Figuras 4.1y 4.2 muestra el panel y las dimensiones de corte del SEL-701, el relé se fija simplemente empotrándose mediante tuercas autoblocantes

Protección contra contacto accidental con el relé terminales traseros con el montaje del relé en un gabinete específico del equipo ubicado en la subestación eléctrica (S.E. 2-A) dispuestas de modo que sólo las personas cualificadas tienen acceso al espacio dentro del alcance de partes vivas. Localizar el tamaño de las aberturas de particiones o pantallas para que ni las personas ni objetos conductores tengan probabilidades de entrar en contacto accidental con las partes vivas.

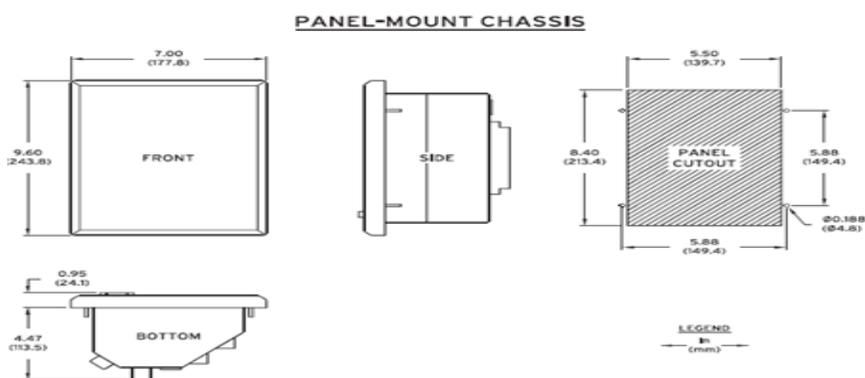


Figura 4.1 Montaje del panel en el chasis

- Montar el relé en el recorte preparado en el panel utilizando los cuatro pernos de montaje y las tuercas.
- Apretar las cuatro tuercas hasta que quede ajustado (10- 15lb/par); tenga cuidado de no apretar demasiado.
- Apretar las tuercas que hacen el sello hermético entre el empaque y el panel donde se empotra el relé (ver fig. 4.2)

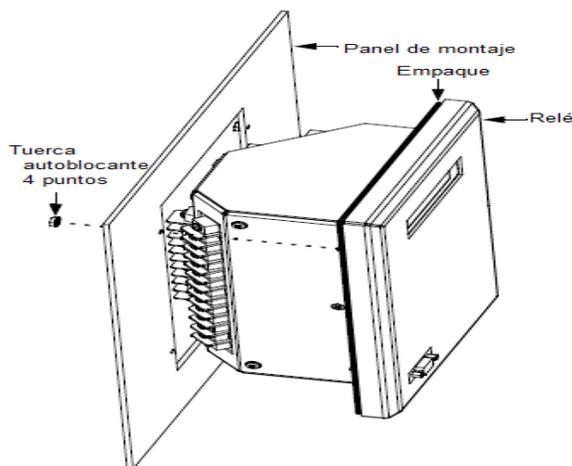


Figura 4.2 Ilustración del montaje del Relé SEL-701

## 4.2 PUESTA EN SERVICIO DEL SEL-701

Comprobaciones que deben efectuarse antes de la puesta en tensión

Además del buen estado mecánico del hardware, comprobar a partir de los esquemas y nomenclaturas establecidos por el instalador:

- La identificación del SEL-701 y sus accesorios que determine el instalador,
- La conexión a tierra del SEL-701 (mediante el borne 17 del conector de 20 puntos),
- La conexión correcta de la tensión auxiliar (borne 1: alterna o polaridad positiva; borne 2: alterna o polaridad negativa),
- La posible presencia de un toroidal de medida de la corriente residual y/o de los módulos adicionales al SEL-701
- La presencia de cajas con bornes de ensayo aguas arriba de las entradas de corriente y de las entradas de tensión,
- La conformidad de las conexiones entre las bornes del SEL-701 y las cajas de bornes de ensayo.

### **Conexiones:**

Comprobar que las conexiones están apretadas (con el hardware sin tensión).  
Los conectores del SEL-701 deben estar conectados y enclavados correctamente.

Puesta en tensión

Puesta en tensión de la alimentación auxiliar.

Comprobar que el SEL-701 realiza a continuación la siguiente secuencia de una duración aproximada de 6 segundos:

- indicadores verdes el panel frontal exhibición fluorescente del vacío oscuro,
- extinción del indicador rojo,
- activación del contacto "perro de guardia",

La primera pantalla mostrada es la pantalla de medida de intensidad de fase.

Instalación del software SEL-701PC

- Puesta en servicio del PC,
- Conectar el puerto serie RS 232 del PC al puerto de comunicación en la pantalla del SEL-701 con ayuda del cable CCA783,
- Iniciar el software SEL-701PC CD-ROM, desde su icono,
- Elegir la conexión con el SEL-701 que se va a controlar.

Identificación del SEL-701

- Anotar el número de serie del SEL-701 en la etiqueta adherida al lado derecho de la unidad básica,
- Anotar el tipo y la versión de software de SEL-701PC, con ayuda del software, pantalla "Diagnóstico SEL-701",
- Anotarlos en la ficha de resultados de los ensayos.

### 4.2.1 SEL-701PC SOFTWARE

El paquete de software de SEL-701PC se suministra con cada relé SEL-701. Este paquete de software permite hacer lo siguiente:

- Crear configuraciones para uno o más relés SEL-701.
- Almacenar y recuperar la configuración desde los archivos de PC
- cargar y descargar ajustes del relé a y del relevador SEL-701.
- Ejecutar comandos de puerto serie del relé en modo terminal para ver los datos del motor.
- Ver cantidades de adjetivos, entradas de contacto y contactos de salidas.
- Descargar y ver formas de onda del evento.

### 4.2.2 REQUISITOS DEL SISTEMA

Para instalar y utilizar el software de SEL-701PC satisfactoriamente, el PC debe tener el mínimo de recursos listado en la tabla 4.1

**Tabla 4.1**  
SEL-701PC Software requisitos del sistema

Característica	Requisito
Procesador	Clase Pentium, $\geq 90$ MHz
RAM	$\geq 16$ MB
Disco duro	10 MB de espacio disponible
Sistema operativo	Microsoft Windows®
Puerto de salida	puerto de salida EIA-232 (necesario para conexión de carga y descarga de relé)
Drivers (controladores)	CD-ROM para la instalación del software

### 4.2.3 INSTALACIÓN DEL PROGRAMA

Para instalar el software de SEL-701PC, se realizan los siguientes pasos:

Paso 1.- Con el ordenador encendido y todas las aplicaciones cerradas, cargar el software de SEL-701PC CD-ROM en tu unidad de CD-ROM.

Paso 2.- El software de configuración debe ejecutar automáticamente. Si la instalación no se inicia, utilice la función de ejecución de Microsoft Windows para iniciar el programa Setup.exe del CD-ROM.

Paso 3.- Seguir los pasos que aparezcan en pantalla. El programa de instalación también le da la oportunidad de instalar una copia en línea del software necesario para ver el manual de instrucciones de formato PDF Manual de instrucciones de relé SEL-701.

### 4.2.4 ALIMENTACION DEL SEL-701

Conexiones de alimentación de entrada el relevador SEL-701 fuente de alimentación tiene una amplia gama de funcionamiento que puede aceptar entradas de c.a. / c.d. La fuente de alimentación del relé está fusionada internamente. Si el fusible funciona, Asegúrese de que la

causa de la operación del fusible ha sido aislada y corregido antes de reemplazar el fusible y regresar el relé al servicio

Rango de alimentación:

- 95–240 ±10% Vc.a 50/60 Hz.
- 20–250 ±20% Vc.d.
- <15 VA, típico.

#### 4.2.5 CONEXIÓN DEL CHASIS A TIERRA DEL RELEVADOR SEL-701

Terminales D01 y D10 son los terminales de tierra del chasis. Al menos uno de estos terminales debe conectarse sólidamente al bus de tierra gabinete para relé correcta operación y seguridad personal (ver figura 4.3)

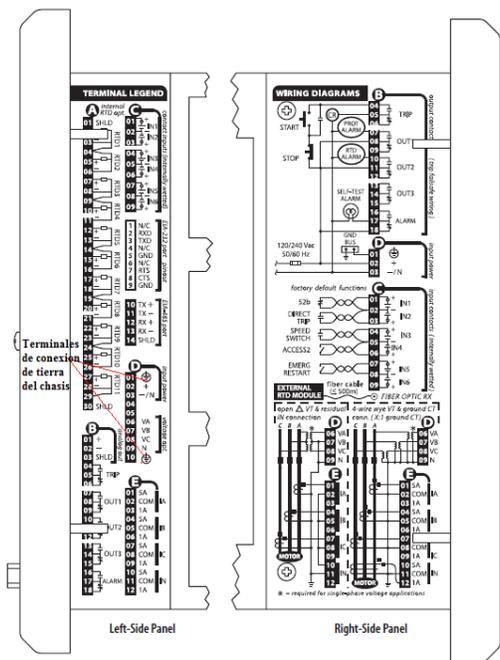
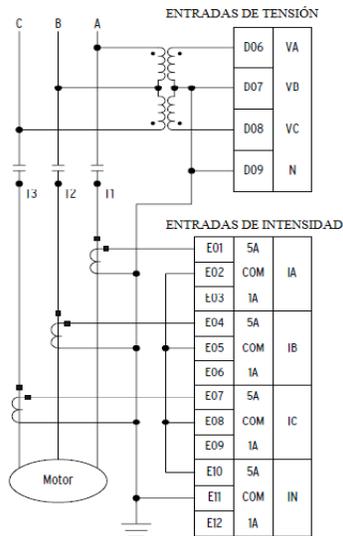


Figura 4.3 Terminales de conexión a tierra del chasis

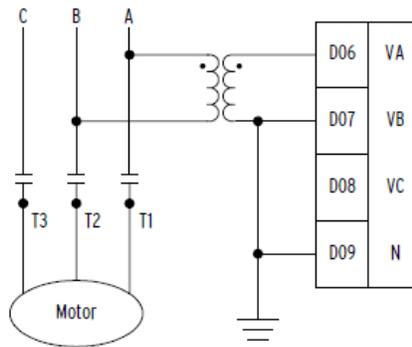
#### 4.2.6 ENTRADAS DEL TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD

El relé SEL-701 está equipado con cuatro entradas de transformador actual: IA, IB, IC, y por cada entrada puede aceptar 1 A nominal o 5 A nominal de las entras del secundario de TC.

La secuencia de relé SE-701 y medidas de potencia son sensibles a la polaridad de corriente aplicada al relé. Asegurar de que las conexiones estén bien conectadas tomando en cuenta la polaridad. Conectar el cable del neutro en la terminal común del TC. Conectar la punta de la polaridad de TC en la entrada según la intensidad con la que se va a trabajar en las entradas del secundario del TC (ver figura 4.4 y 4.5)



**Figura 4.4** Diagrama de cableado, voltajes y corrientes en conexión delta abierta.



**Figura 4.5** Diagrama de cableado de tensión de fase a fase única

Se conecta el cable mono polar del TC al terminal COM del mismo TC. Y se conecta la terminal del TC con polaridad conducen a la 5 A o 1 A la entrada, según la clasificación secundaria de la CT.

Debe tenerse precaución al aplicar el relé SEL-701 en planta de energía auxiliares, donde la corriente de falla de línea a línea puede alcanzar magnitudes altas (40000 A primario). Además de un filtro coseno, el relé SEL-701 incorpora un detector de pico bipolar filtro para asegurar la protección de corto circuito confiable incluso bajo grave saturación TC. Los siguientes criterios en la selección del TC deben cumplirse para garantizar el funcionamiento de un elemento instantáneo en 100 A (TC de 5A secundaria corriente nominal).

Para las aplicaciones actuales de alta falla, TCs utilizados con el relé SEL-701 deben cumplir los siguientes criterios.

$$\left(\frac{X}{R} + 1\right) \cdot I_f \cdot Z_b \leq 10400 \quad (4.1)$$

$$\left(\frac{X}{R} + 1\right) \cdot \frac{I_{MAX}}{CT_{RATING}} \cdot \frac{100 \cdot Z_B}{ANSI} \leq 10400 \quad (4.2)$$

Dónde:

If= Es la máxima corriente en por unidad de CT valorar

Zb= Es la carga por unidad de carga estándar de TC

X/R = Es la relación entre el circuito primario

IMAX = Es la máxima corriente de falla primaria para falla de línea a línea

CTRATING= Es la calificación primaria del CT en amperios

ZB= Es la carga total de secundaria TC en ohmios

ANSI= Es la clasificación de voltaje de ANSI de TCs

Ejemplo 4.1:

Determinar si la siguiente aplicación cumple con los criterios anteriores aplicando la ecuación 4.2 para verificar si los TCs cumplen con los criterios requeridos

TCs utilizados = 50,5, clase C50

Ajuste de recolección instantánea del elemento = 100 Amperes secundario

Máxima corriente de falla actual de línea a línea = 40000 Amperes primario.

X/R cociente = 12

Total de carga en TC en lado secundario = 0.5 ohm.

$$(12 + 1) \cdot \frac{40000}{50} \cdot \frac{50 \cdot 0.5}{100} \leq 10400$$

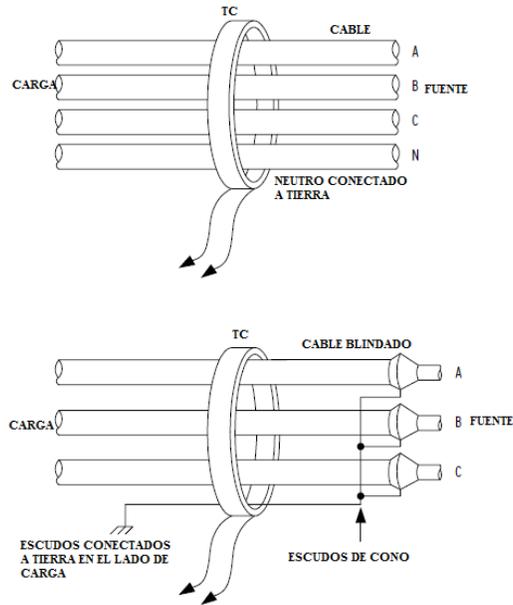
El cálculo muestra que el 50,5 una (clase C50) CT cumple los criterios en la ecuación 4.2

#### **4.2.7 ENTRADAS DE CORRIENTE Y TIERRA DEL TRANSFORMADOR AL RELEVADOR SEL-701**

La entrada IN de relé puede conectarse en cualquiera de las dos maneras (ver figura 4.4) el método preferido es la conexión a tierra. Conectar la IN residualmente, se requiere seleccionar una sobrecorriente relativamente alta para evitar un posible disparo debido a la falsa residual actual causada por la saturación del TC durante la alta corriente de arranque. La conexión IN que se muestra en la figura 4.4 se prefiere y prevé una proporción menor de TC de flujo-equilibrio que evita la saturación y proporciona una mayor sensibilidad de falla de tierra.

Seleccione Transformadores trifásicos para su aplicación para que la corriente primaria nominal sea igual o mayor que la corriente de carga completo motor. La corriente de carga completa no debe ser menos de la mitad de la corriente primaria nominal del TC. Si se conecta la corriente IN el secundario de un transformador de corriente y neutro o tierra de entrada (ver figura 4.4)

Cuando se utiliza una conexión a tierra del TC, su colocación es fundamental y depende del tipo de cable utilizado para conectar el motor a la fuente (ver figura 4.6) con cable no blindado requiere que colocarse el TC entre el motor y la conexión del neutro a tierra con el cable neutro incluido en el TC en el cable blindado, la conexión a tierra de protección debe pasar a través de la ventana del TC.

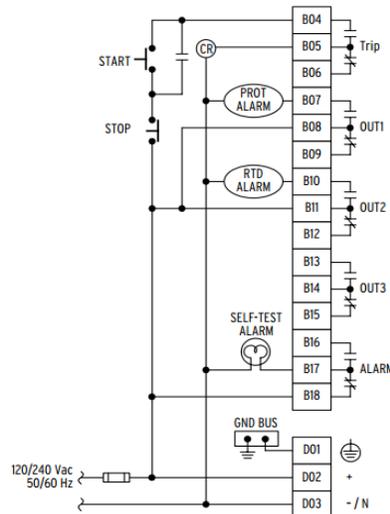


**Figura 4.6** Conexión de TC utilizando la conexión a tierra, tomando en cuenta el tipo de cable utilizado

#### 4.2.8 SALIDAS DE CONTACTOS

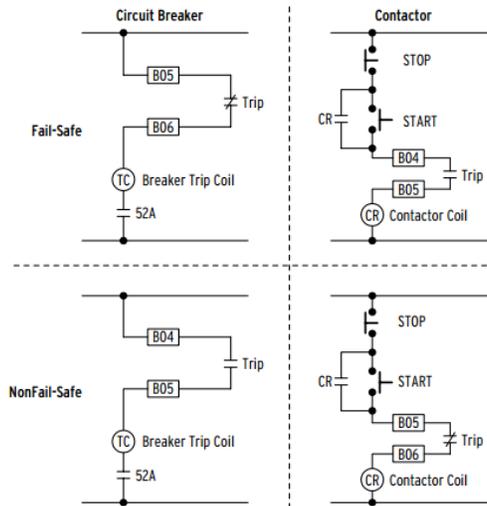
El relé SEL-701 está equipado con cinco salidas de contactos. Cada uno provee un normalmente abierto y un contacto normalmente cerrado. Los contactos son nominales al conmutador 8 A resistentes a 250 Vc.a. Para la operación de la dc, los contactos son nominales para disparo debidamente, según estándares de la norma IEEE.

Las posiciones de contactos en el relé chasis son las posiciones de que los contactos están cuando el relé este desenergizado. El relé de alarma de auto-test de contacto siempre funciona en modo a prueba de fallos; puede utilizar ajustes del relé para programar las salidas restantes para la operación a prueba de fallos. Cuando se establece una salida para operar en modo a prueba de fallos, el relé tiene el contacto energizado continuamente, entonces desenergiza el contacto al viaje. El contacto es desenergizado también si se quita la energía de entrada del relé. Las conexiones son adecuadas para uso con un contacto del motor cuando se desea la operación a prueba de fallos de viaje. Cuando se establece una salida para operar en modo no a prueba de fallo, el relé energiza el contacto. Los contactos no cambian posición cuando se quita la energía de entrada del relé



**Figura 4.7** Diagrama de cableado a prueba de fallo

Nuestros varios métodos de cableado para conexiones a prueba de fallos y no pruebas de fallo es controlar los interruptores y contactares como se ilustran en los siguientes diagramas (figs.4.7 y 4.8)



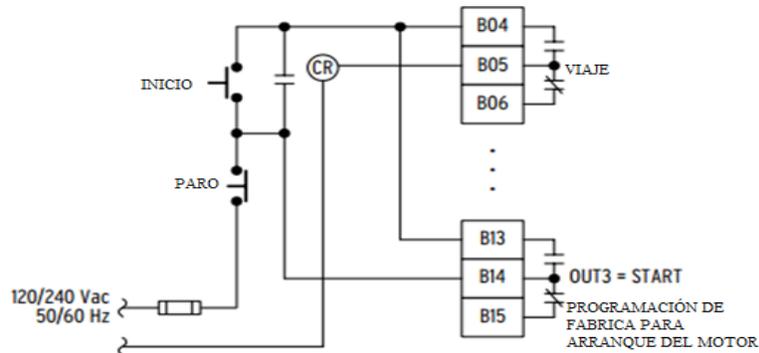
**Figura 4.8** Opciones de contactos, cableado a prueba de fallos, ON a prueba de fallo.

Los contactos del relé de salida son totalmente programables utilizando los ajustes del relé. La configuración de fábrica para OUT1 proporciona una alarma para elementos de protección seleccionado como el elemento térmico motor, elemento de pérdida de carga, elemento de desequilibrio actual y alarmas de elemento de poder. El contacto normalmente abierto de la salida de salida 1 cierra si detecta alguna de estas condiciones de alarma.

La configuración de fábrica para salida 2 proporciona una alarma para funciones basadas en RTD. El relé cierra el contacto normalmente abierto de la salida si una temperatura de alarma del RDT se supera, si la alarma de RDT sesgo recoge, si conduce de RDT cortocircuitado o abierto, o si el relé pierde comunicación con el módulo de RDT SEL-701. Esta salida está inactiva si el relé no está equipado con entradas RTD. La salida puede utilizarse para encender el motor utilizando la configuración predeterminada de fábrica como (ver figura 4.9)

El contacto de la salida de alarma normalmente cerrado es un contacto a prueba de fallos. Este contacto se abre mientras el relé está en servicio y cierra cuando:

- Se retira la Potencia de entrada.
- Se introducen tres incorrectas contraseñas de acceso nivel 2
- Se logra éxito admisión acceso nivel 2.
- El relé de falla



**Figura 4.9** Comienzo del Motor opcional cableado utilizando valores predeterminados de fábrica para contacto de salida.

#### 4.2.9 ENTRADAS DE CONTACTOS

El relé SEL-701 está equipado con seis entradas de contactos internamente mojadas. El relé suministra 28 Vdc voltaje de adherencia de soldadura para cada entrada por lo que sólo necesitará conectar un contacto seco, interruptor o puente a la entrada.

No conectar voltajes externos a las entradas de contacto de relé. Porque las entradas de contactos se mojan internamente, puede causar daño permanente al relé o equipos externos conectar tensión externa a una entrada de contacto de relé.

Las funciones de entrada contactos son completamente programables con los ajustes del relé que se describe en el Apéndice B: SELOGIC Control ecuaciones y relé lógico. Para muchas aplicaciones, la configuración por defecto de fábrica se muestra en la figura 2.13 y se describe a continuación proporcionará el rendimiento deseado.

- Entrada IN1 está configurado para controlar el motor, interruptor, contactor 52B contacto, si está disponible
- Entrada IN2 está configurado para disparo directo. Cuando se cierra el contacto conectado a IN2, el relé se activará para apagar el motor
- Entrada IN3 está configurado para un interruptor de velocidad. Si quiere interruptor de disparo de velocidad, conectar el contacto del interruptor de velocidad IN3 o el contacto de entrada del módulo de IDT SEL-2600. Consulte velocidad interruptora de disparo.
- Entrada IN4 está configurado para control de acceso de nivel 2. Puede conectar un interruptor de llave a esta entrada. Cuando el contacto del interruptor está cerrado, puede utilizar los comandos de relé 2 de nivel de acceso para cambiar los ajustes del relé o controlar los contactos de salida.

Nota: El relé no requiere que esta entrada se use para acceso, También puede introducir la contraseña correspondiente relé mediante el puerto serial o panel frontal para poder entrar a Acceso. Cortocircuito la entrada IN4 hace que la contraseña de entrada innecesaria; Esto es útil si pierde la contraseña de acceso.

- IN5 entrada está configurado para permitir el reinicio de una emergencia. La función de reinicio de emergencia restablece el modelo de relé térmico y reemplaza las demás funciones de bloqueo partida para permitir una iniciación inmediata del motor.
- IN6 de entrada no se aplica en las configuraciones de fábrica.

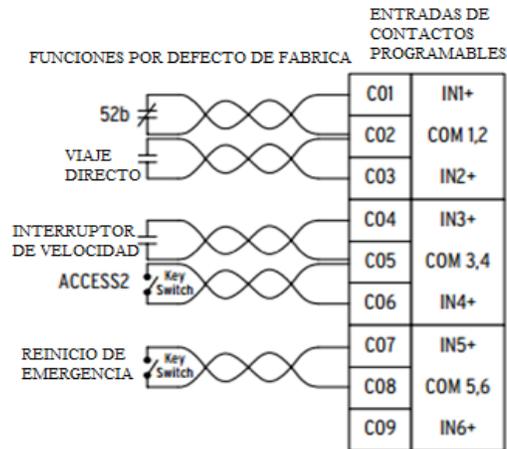


Figura 4.10 Contacto con entrada de fábrica esquema eléctrico

#### 4.2.10 SALIDA ANALÓGICA

La salida analógica sola relé SEL-701 proporciona una señal nivel actual de la dc proporcional a cualquiera de varias medidas de relé. Relé ajustes descritos en la configuración de salida analógico en página 4.44 en la sección 4: cálculo de configuración le permiten seleccionar la gama de la salida analógica (0 – 1 mA, 0 – 20 mA o 4 – 20 mA). Conecte la salida del relé a la entrada de su medidor PLC o panel.

La carga máxima a la salida analógica depende del rango de salida seleccionado. Cuando se selecciona 0 – 20 mA o 4 – 20 mA, la carga máxima es de 400 ohms. Cuando se selecciona 0– 1 mA, la carga máxima es de 8000 ohmios.

Conectar el blindaje del cable de salida analógica a tierra al terminal B03 (SHLD), o en la ubicación de PLC o metro. No conecte el blindaje a tierra en ambos lugares.

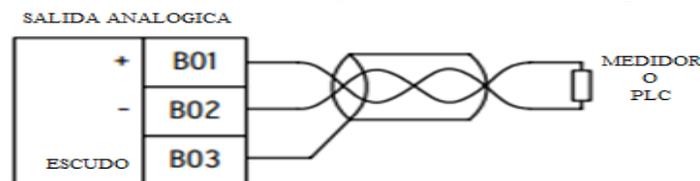


Figura 4.11 Cableado de salida analógica

#### 4.2.11 CONEXIONES INTERNAS DE RTD

El relé SEL-701 está disponible con 11 entradas RTD internas opcionales

Cuando el relé está equipado con entradas RTD internos, puede introducir ajustes del relé que definen el tipo, ubicación, viaje y temperaturas de alarma para cada entrada individual. RTDs pueden medir la temperatura de los bobinados del motor, cojinetes de motor o de carga, la temperatura ambiente u otras temperaturas. El relé puede medir con precisión la temperatura representada por platino de 100 ohmios, 100 ohmios níquel, níquel 120 ohmios o RTDs de cobre de 10 ohmios, pero no permite la medición de la temperatura con termistores y termopares.

El relé soporta tres conductores RTDs, proporcionando terminales, – y cables comunes. Para mejor compensación de la resistencia del conductor, todos de tres conductores deben ser la misma longitud y calibre. Resistencia del conductor máximo es 25 ohmios para termorresistencias de platino y níquel y 3 ohmios para RTDs de cobre.

**Tabla 4.2**  
Típico RTD máxima longitud de plomo.

IDT plomo AWG	RTD de platino o níquel	Cobre RTD
24	950 ft (290m)	110 ft (34m)
22	1500 ft (455m)	180 ft (54m)
20	2400 ft (730m)	290 ft (80m)
18	3800 ft (1155m)	450 ft (137m)

### 4. 3 MONTAJE DE LOS CABLES ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN [11]

Los conductores que forman hoy en día los cables eléctricos son el resultado de los grandes estudios que los fabricantes encargan a sus departamentos de I+D, para que puedan trabajar estos cables en las más duras condiciones que en cada momento le sean demandados.

La elevada tecnología que presentan estos cables obliga a que el manejo y la instalación de estos, se tenga que realizar de una forma adecuada para que no puedan ser dañadas sus características técnicas. Si estos cables son tratados de forma inadecuada pueden ocasionarles daños, que, si no son detectados de forma inmediata y son instalados, pudieran disminuir su vida útil de forma considerable. Los mayores peligros que pueden sufrir los cables se suceden en el transporte y en el tendido de los mismos:

En el transporte de distinguen, principalmente, tres periodos

- a) El transporte desde la fábrica hasta el almacén.
- b).En el almacén, propiamente dicho.
- c).En el traslado al lugar del tendido.

Los cables se suministran, principalmente, en bobinas de madera cuyos diámetros totales de alavan, desde los 250 cm en los casos más grandes hasta los 60 cm en el caso de los más pequeños, todo ello dependiendo de la longitud, el peso y el diámetro exterior de los cables.

El transporte de las diferentes formas de embalar a las diferentes formas constructivas de los cables, como pueden ser: cajas, rollos o bobinas y muy especialmente estas últimas, se realizarán de tal forma, que, deban ir siempre de pies y nunca apoyadas por una de sus caras, por lo que los medios de transporte que utilizemos (tren, camiones, etc.) deberán disponer de los elementos adecuados de anclaje para que éstas no rueden.

Para proceder a la carga ya la descarga de las bobinas en el medio de transporte seleccionado, deberán ser suspendidas de una barra adecuada al peso de la misma para poder situarlas en el sitio adecuado o bien si utilizásemos rampas o muelles, éstas estarán construidas de tal forma que puedan deslizarse las bobinas. La pendiente máxima recomendada, en el caso de tratarse de rampas no será superior al 25 %.

Nunca deberán arrojararse ni las bobinas ni los rollos desde los vehículos al suelo, aunque tanto sus dimensiones como su peso sean pequeños, pues el golpe o impacto podrían dañar a los cables.

En el almacenamiento, nunca deberán almacenarse los rollos o las cajas a la intemperie, y siempre que sea posible, también las bobinas, pues la presencia del Sol y de la humedad pueden llegar a deteriorarlos. En el caso de las bobinas, la madera podrá sufrir daños graves, que supongan problemas importantes tanto para el transporte como para el posterior tendido de los mismos.

Cuando los cables alojados en las bobinas tengan que permanecer a la intemperie, deberán ser instalados capuchones que le cubran por completo, esto es, a todos los conductores ya la cubierta exterior del propio cable.

Durante el traslado de los cables desde el almacén hasta el punto de tendido, tendremos que tomar las mismas precauciones que cuando los trasladamos desde la fábrica hasta el almacén

Por lo que respecta a la carga, transporte y descarga; las bobinas deberán rodarse en el mismo sentido que el fabricante enrolló a los cables.

Si es necesario revirar la bobina, se realizará por medio de una barra o bastón haciendo palanca para facilitar el giro.

Los preparativos que tendremos que realizar para el tendido de los cables será una de las labores más importantes a llevar a cabo, para que éstos no sufran ningún deterioro. Lo primero que haremos será colocar la bobina sobre un apoyo cuyo eje deberá estar situado a una altura tal, que no impida girar libremente a la bobina para un correcto tendido de los cables, deberemos instalar un freno, aunque sea de una forma muy sencilla o elemental, que nos permita frenar la bobina en el caso de que se nos produzcan cocas o curvaturas peligrosas en el cable, así como la inercia propia del giro de la bobina cuando se está tendiendo el cable que pueda poner en peligro o cause un accidente al personal que allí trabaja.

El emplazamiento de la bobina será de tal forma que, el cable no tenga que forzarse para tomar la alineación del tendido.

El tendido de cables cuya cubierta sea termoplástica deberá hacerse a temperaturas superiores a los 0 °C para que no se agrieten. Es importante, igualmente, que el fabricante indique cuál es el radio mínimo de curvatura con los que deben tenderse los cables para que estos no sufran ni cambien las características técnicas para lo que han sido fabricados.

Para el tendido del cable, lo primero que haremos es soltar de la bobina el inicio del cable, instalándole un cabezal que nos sirva para poder tirar de él.

El cable es tendido a con rodillos accionados por motor En todos los casos, el tendido se realizará utilizando rodillos preparados al efecto, que sirvan para disminuir el rozamiento sobre el suelo en el caso de ser enterrados directamente. Los rodillos evitarán que el cable se arrastre por el suelo o que roce con las paredes laterales de la zanja en los cambios de dirección. Si no existen obstáculos en la zanja o en sus proximidades, se podrán tender los cables directamente desde un vehículo, sobre el cual, utilizando los correspondientes gatos y el eje de giro está colocado la bobina. El tendido con los rodillos motorizados es un sistema más reciente que consiste en disponer a lo largo de la zanja, a distancias entre los 20 y 30 metros, unos rodillos accionados por sendos motores eléctricos. Con este sistema la tracción se distribuye uniformemente a lo largo del cable. La unión entre conductores se realiza por medio de empalmes premoldeados.

Una vez instalados los cables tendremos que realizar las siguientes comprobaciones:

- Aislamiento.
- Cortocircuito.
- Interrupción.
- Sucesión de fases.

### 4.3.1 CALCULO DE TENSION DE JALADO.

Tensión de jalado en: tramo recto horizontal

$$T_1 = LW\mu C \quad (4.3)$$

Tramo recto inclinado hacia arriba

$$T_1 = LW(\mu C \cos\phi + \text{sen}\phi) \quad (4.4)$$

Tramo recto inclinado hacia abajo

$$T_1 = LW(\mu C \cos\phi - \text{sen}\phi) \quad (4.5)$$

Tramo con curva

$$T = T_1 e^{a\mu c} \quad (4.6)$$

Para utilizar esta última formula, se deberá tener en cuenta que la tensión (T), antecede al tramo con curva, ya sea horizontal, o bien hacia arriba o hacia abajo.

En las fórmulas anteriores se tienen y donde:

- $\mu c$  Coeficiente de fricción.
- $\phi$  Ángulo de inclinación en grados.
- T Tensión en kilogramos.
- L Longitud del ducto en metros.
- W Peso del cable en kilogramos por metro.
- e Base de logaritmo neperiano (2.718).
- a Ángulo de la curva en radianes.

Para tramos con curvas, la presión sobre las paredes de la curva no debe exceder de 450 kg/m y la fórmula para determinar esta presión es:

$$T = \frac{\text{Tension en el tramo}}{\text{Radio de curvatura}} \quad (4.7)$$

Máxima longitud de jalado permisible en tramo recto:

$$L \text{ máx.} = \frac{T \text{ máx.}}{\mu c W} \quad (4.8)$$

Dónde:

- L máx. Longitud de jalado, en m.
- T máx. Tensión máxima en kg.
- $\mu c$  Coeficiente de fricción.
- W Peso del cable en kg/m.

A continuación se dan los valores  $e^{a\mu c}$  para facilitar la utilización de la formula, así como los valores para radios de curvatura.

**Tabla 4.3**  
Valores de  $e^{\mu c}$

Ángulo en		Tipo de material			
		Plástico	Fierro	Cemento	Barro y otros
		Coeficiente de fricción ( $\mu c$ )			
Grados	Radianes	0.30	0.40	0.50	0.75
15	0.261	1.08	1.11	1.14	1.22
30	0.523	1.16	1.23	1.30	1.48
45	0.785	1.26	1.26	1.48	1.80
60	1.047	1.36	1.36	1.68	2.19
75	1.308	1.48	1.68	1.92	2.66
90	1.570	1.60	1.87	2.19	3.25
105	1.832	1.73	2.08	2.49	3.95
120	2.090	1.87	2.30	2.84	4.79

#### 4.3.2 EFECTOS CALORÍFICOS DE LA CORRIENTE LEY DE JOULE.

$$Q = 0.00024 RI^2t \quad (4.9)$$

Dónde:

- Q Cantidad de calor en kilocalorías.
- R Resistencia en ohms
- I Corriente en amperes
- t Tiempo en segundos

Ejemplo:

Al pasar una corriente por un conductor desarrolla en él una cantidad de calor proporcional a su resistencia, al tiempo a al cuadrado de la intensidad de la corriente.

¿Qué cantidad de calor se desarrolla durante una hora en una resistencia de 130000 megohms, que es recorrida por una corriente de 60 amperes?

Convertimos una hora en segundos:

$$(1h)[(60min)/1h][(60seg)/1min] = 3600seg$$

Convertimos megohms en ohms:

$$[(130000) (1000000)/1] = 130000000000 ohms$$

$$Q = \{0.00024 \times 130000000000 [(60)^2] \times 3600\} = 404352000000000 \text{ joule}$$

#### 4.4 PRUEBAS DE ACEPTACIÓN A CABLES ALIMENTADORES.

La fiabilidad demandada en generación y distribución eléctrica se está incrementando en los últimos años. Los defectos de aislamiento son la causa más común de fallo en equipos, aparatación eléctrica y cables. La realización de ensayos bajo un programa de mantenimiento programado, alargará la vida de nuestros equipos, minimizará el fallo y evitaremos inversiones innecesarias.

En el caso de problemas de aislamiento en cables, uno de los objetivos es detectar el desarrollo de arborescencias acuosas antes de que se produzca un corte en el suministro eléctrico.

Generalmente las causas de deterioro y rotura del dieléctrico en cables XLPE y PILC se producen por:

- 1.- Actividad de descargas parciales debidas a malas terminaciones o empalmes, daño superficial en la cubierta semiconductor y debido a impurezas o cavidades en el dieléctrico.
- 2.- Rotura térmica, debida a la sobrecarga y al calor que no puede ser disipado por los conductores.
- 3.- Rotura por perforación eléctrica producida en el aislamiento por estrés eléctrico.

#### **4.4.1 MÉTODOS DE PRUEBAS Y DIAGNÓSTICO PARA CABLES DE MEDIA TENSIÓN.**

Los métodos disponibles para mantenimiento y diagnóstico en cables son los siguientes:

1. - Tangente de Delta.
2. - Descargas Parciales.
3. - Corriente de Fuga y ensayo de cubierta en corriente continua.

#### **4.4.2 PRUEBA DE TANGENTE DE DELTA A BAJA FRECUENCIA.**

A medida que el conductor va envejeciendo, se produce un incremento de pérdidas en el dieléctrico. La medida de Tangente de Delta, es una prueba de corriente alterna que evalúa la calidad del dieléctrico.

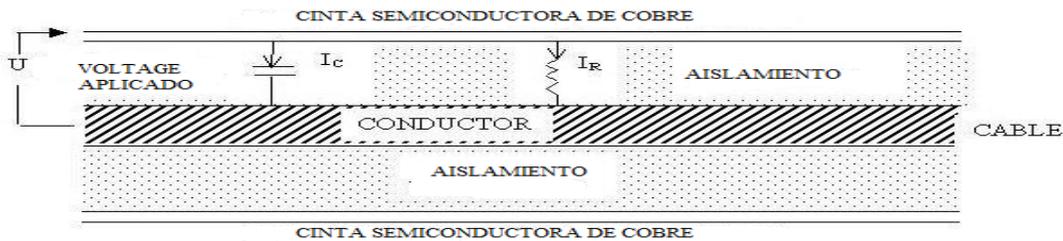
El propósito de esta prueba es detectar arborescencias acuosas, y así, clasificar el aislamiento como excelente, normal o envejecido.

#### **PRUEBA TANGENTE DE DELTA.**

A partir de las características básicas que un sistema aislante presenta cuando se aplica una tensión eléctrica entre sus electrodos, se han desarrollado decenas de métodos de análisis de estado de aislamiento, de acuerdo sean cuales son las variables observadas o bien combinacionales de las mismas, normalizando valores y relacionando resultados. A continuación, se presenta el método tangente de delta el cual se considera método no destructivo, ya que se entienden por ello que se realizan con tensiones inferiores a las tensiones de funcionamiento asignadas de la maquina objeto de ensayo. El ensayo de la tangente de delta, también denominado de "factor de pérdidas", tiene su aplicación como prueba para determinar la calidad en la fabricación de los cables y como indicador del estado del sistema aislante global de los cables alimentadores de media tensión y es la característica de corriente alterna más universalmente aceptada a tal efecto, el valor de la tangente de delta de un aislamiento es una medida de las pérdidas dieléctricas del mismo. En un aislamiento perfecto, el valor de tangente no se incrementa conforma aumenta el valor de la tensión aplicada, sin embargo, la presencia de huecos de aire en el aislamiento puede originar, si la tensión de ensayo aplicada es suficiente, el fenómeno de descargas parciales, lo que determina el incremento del factor de pérdidas.

Podemos asimilar un cable eléctrico a un condensador. Por lo tanto, a mayor longitud del cable, mayor será su capacidad. Al aplicar una tensión de corriente alterna, la intensidad estará desfasada con respecto a la tensión 90 grados. Con la aparición de arborescencias acuosas en el aislamiento del cable, este dejará de comportarse como un condensador puro, y comenzará a

tener una pequeña resistencia en paralelo con la capacidad (ver fig. 4.12). El resultado es que la corriente ya no se encuentra a un desfase de 90 grados con respecto a la tensión. Este cambio es muy pequeño (menor de un grado), pero esta desviación hace que el cable empiece a no tener un comportamiento normal.



**Figura 4.12** Diagrama eléctrico equivalente de un cable.

Este cambio, por insignificante que parezca, es detectado por el ensayo de Tangente de Delta durante su diagnóstico. Al realizar el ensayo, se inyectarán distintas tensiones al cable, las cuales estarán ligeramente por debajo y por encima de la tensión de operación. Los cables con un aislamiento envejecido, tendrán valores altos de Tangente de Delta. Además, también se producirán cambios en estos valores, dependiendo de la tensión que se haya aplicado durante la prueba. Por otro lado, los cables con un buen aislamiento, presentarán unos resultados bajos de Tangente de Delta, y sus valores, no tendrán apenas variaciones cuando el ensayo se realice a tensiones diferentes.

Para la realización del ensayo de Tangente de Delta, se necesita un generador de tensión de baja frecuencia. Existen dos razones, por lo que podemos considerar el ensayo a baja frecuencia como un buen recurso:

- 1.- El peso y el precio con respecto a equipos de ensayo a 50Hz.
- 2.- El incremento de sensibilidad y efectividad para la detección de arborescencias acuosas.

Un ensayo típico de tangente se realiza aplicando valores de la tensión en varios incrementos desde por ejemplo  $0,2E_n$  hasta  $E_n$ , (a veces  $1,2 E_n$ ) entre terminales, midiendo la corriente alterna que circula por el aislamiento mediante equipos adecuados al ensayo que, en esencia, son versiones adaptadas para este propósito de un puente de Schering.

A partir de los resultados obtenidos, los parámetros que suelen utilizarse en el diagnóstico son:

- Valor de  $tg.$  a  $0,2 V_n$ .
- Incremento de tangente entre  $0,2 E_n$  y  $0,6 V_n$ . A veces la mitad de este valor.
- Evolución de la gráfica de tangente en función de la tensión aplicada y evaluación con cada salto de  $0,2 V_n$

Como norma general, el incremento de la tangente en un aislamiento epoxi-mica, debe de estar por debajo del 1%, mientras que para un aislamiento de mica compactada con poliéster puede presentar valores muchos más altos y no presentar problemas. El valor de tangente a tensiones reducidas es representativo del grado de polimerización, pérdidas intrínsecas del material o presencia de humedad y contaminación. No es práctico deducir la condición del aislamiento sobre la base de un único ensayo. Debemos de tener en cuenta que el factor de pérdidas no se relaciona directamente con la zona de peor aislamiento, de modo que una bobina en mal estado puede quedar enmascarada por un número suficiente de bobinas en buenas condiciones.

#### 4.4.3 PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES A BAJA FRECUENCIA

Una descarga parcial se define como una descarga eléctrica localizada en el aislamiento. Es importante diferenciar, que una descarga parcial es una rotura parcial del aislamiento del cable y, por lo tanto, no sería detectable usando un método convencional de detección de faltas en cables. Se pueden desarrollar desde distintas partes de un cable como por ejemplo, a través de una arborescencia eléctrica, empalmes, en la cubierta semiconductora, etc. Si estas descargas se produjeran en el aislamiento del cable, el fallo del cable será inminente.



Figura 4.13 Equipo de VLF con opción para tangente de delta y descargas parciales

Los ensayos off line de descargas parciales realizados en los cables durante paradas programadas, pueden ser ejecutados a distintos niveles de tensión para detectar una o múltiples descargas parciales en distintas partes del cable. La erosión en el aislamiento debido a actividad de descargas parciales nos conducirá a un fallo inminente en cables XLPE. Sin embargo, debemos tener en cuenta, que existen materiales que son más resistentes a las descargas parciales que otros. Por ejemplo, las juntas y terminaciones tienen una gran capacidad para aguantar descargas parciales, si lo comparamos con el aislamiento principal. Por lo tanto, es muy importante localizar la descarga parcial, para determinar si el fallo va a ser o no inminente. Tradicionalmente el ensayo de descargas parciales se ha estado realizando en fábricas de cables para control de calidad. En estos últimos años, se ha avanzado mucho con respecto a esta tecnología, y se ha conseguido realizar ensayos satisfactorios en campo y en ambientes ruidosos.

Las arborescencias acuosas y eléctricas tienen diferentes propiedades, por lo tanto, los métodos de diagnóstico para detectarlos son distintos. En muchos casos, cables con valores muy pobres de factor de disipación, indicarán la presencia de arborescencias acuosas, pero estos valores no nos advertirán de actividad de descargas parciales.

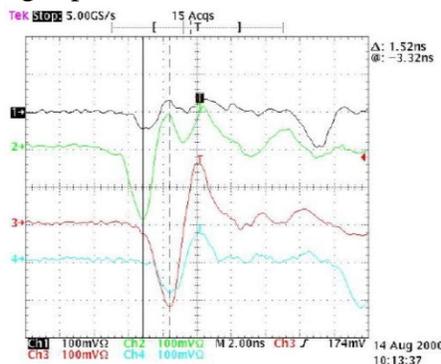


Figura 4.14 Problema de descargas parciales en un empalme

#### 4.4.4 CORRIENTE DE FUGA Y ENSAYO DE CUBIERTA EN C.C.

La misión del ensayo de sobretensión, es evaluar el aislamiento para asegurarnos de que este no fallará cuando esté en servicio. Esta prueba, consiste en inyectar al aislamiento frente a tierra una

tensión superior a la nominal y ver si este es capaz de soportar sobretensiones extraordinarias provocadas por cortes de red, aperturas de interruptores, etc.

El ensayo de corriente continua ha sido usado durante muchos años para ensayar cables PILC. Como herramienta de diagnóstico, tiene poco de significado, ya que obtenemos un valor de corriente de fuga, el cual será aceptado o no dependiendo del valor obtenido. Este ensayo es más conocido como “pasa o no pasa”. En las terminaciones de cables tipo PILC el incremento de pérdidas aumenta, y por lo tanto, también se produce un aumento de la corriente de fuga. Este ensayo se ha estado utilizando para cables tipo XLPE, pero algunas investigaciones concluyen que es destructivo y puede provocar un envejecimiento prematuro en el aislamiento.

La cubierta exterior de los cables debe ser ensayada mediante este método por dos buenas razones:

- Para detectar erosiones y faltas a tierra.
- Para evitar que el agua se introduzca dentro de la parte semiconductor externa.

Es un ensayo sencillo de realizar y que hoy en día se sigue utilizando para realizar pruebas de aceptación.

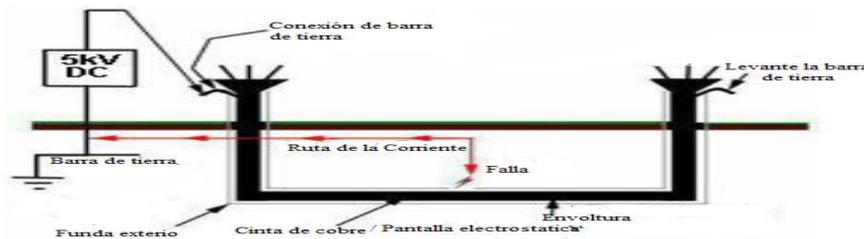


Figura 4.15 Prueba de cubierta

#### 4.4.5 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DE CABLES MEDIA TENSIÓN CON TECNOLOGIA VLF.

##### Antes de la prueba:

- Es preferible que los equipos bajo prueba se encuentren instalados ya que esto no sólo permite evaluar el equipo sino todos sus accesorios. No obstante se pueden realizar pruebas en equipos sin instalar.
- Las pruebas deben realizarse en un local cubierto o al aire libre siempre y cuando se encuentre seco y la humedad relativa del ambiente sea inferior al 80%.
- Tenga en cuenta que la máxima tensión de prueba puede alcanzarse en ciudades hasta 1000 m.s.n.m por lo que en ciudades como Bogotá las tensiones de prueba pueden ser relativamente inferiores.
- Para la conexión del equipo de prueba se requiere en sitio un circuito a 120V con puesta a tierra.
- Por seguridad las instalaciones deben tener un sistema de puesta a tierra donde puedan referenciarse todas las tensiones durante la prueba.
- Antes de aprobar la ejecución de las pruebas el cliente debe ser consciente que el resultado de la prueba es PASA/NO PASA por lo que si el aislamiento del equipo bajo prueba falla durante la prueba es posible que deba reemplazar el equipo bajo prueba.
- Las acometidas y equipos bajo prueba deben estar totalmente aislados del resto del sistema eléctrico interno y externo del lugar donde serán realizadas las pruebas.

- La totalidad de las pruebas serán realizadas bajo normativas IEEE, no obstante si el cliente requiere la ejecución de las pruebas bajo otras normativas éstas deben ser presentadas con anterioridad a la ejecución de las mismas.

### **Durante la prueba:**

Tenga en cuenta que las tensiones de prueba pueden ser mortales, razón por la cual en sitio sólo debe estar presente personal calificado.

- Debe estar presente un coordinador de las pruebas por parte del cliente quién debe presenciar las pruebas y debe aprobar el resultado de las mismas. La ausencia del cliente durante las pruebas dará por entendido que se aceptarán los resultados de las mismas.
- Los tiempos de ejecución de las pruebas serán los recomendados por IEEE 400.2 (>15 min para el caso de las acometidas en conductores XLPE), no obstante en sitio se podrán realizar pruebas por un mayor tiempo si el cliente así lo requiere

### **Luego de la prueba**

El equipo de campo verificará que la totalidad de los elementos probados queden en las mismas condiciones en las cuales estos fueron recibidos.

- El protocolo de campo debe ser firmado por el coordinador del cliente y el responsable de la ejecución de las pruebas.
- El protocolo final de pruebas será entregado en las oficinas del cliente 3 días hábiles luego de la realización de las pruebas.

La prueba de aislamiento con tensión aplicada con tecnología VLF no deteriora al cable o equipos bajo prueba como si puede suceder con las pruebas de HIPOT DC donde el daño al aislamiento se produce durante la prueba causando así posibilidades de futuras fallas. Esto gracias a que la prueba aplicada se hace con una señal senoidal para la cual los elementos fueron diseñados. Debe notarse que las tensiones de prueba en campo siempre son menores a las tensiones de prueba de fábrica por lo que la prueba no es más exigente a las pruebas que ya fueron realizadas por el fabricante de los equipos. Sin embargo, cuando se afirma que las pruebas VLF pueden ser destructivas se tiene la razón en el caso en el cual los cables, sus empalmes u otros accesorios son detectados como defectuosos (resultado = NO PASA). Esto en virtud de que la prueba se trata de forzar el aislamiento a una alta tensión que puede resultar en ruptura de los aislamientos. Sólo de esta forma se detectan las fallas potenciales en los equipos bajo prueba y por tanto es la garantía de que al pasar una prueba exigente se logre la seguridad en la operación que se busca; siempre será preferible que los elementos fallen durante la prueba y no cuando están en servicio.

## **4.5 PRUEBAS REALIZADAS AL ARRANCADOR DEL MOTOR K-101f**

### **4.5.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS**

La finalidad de esta prueba es verificar que la unión de los contactos del interruptor sea la adecuada. Esto es importante porque con ello se pueden detectar problemas de falsos contactos, ensambles y alineamientos incorrectos desgaste excesivo de los contactos, etc. Los problemas anteriores se traducen en caídas de voltaje, focos de calor y pérdidas de potencia.

Para efectuar la prueba debe sacarse de su cubículo el interruptor y ponerlo en posición de cerrado, debe medirse la resistencia entre contactos en cada fase. El aparato generalmente

utilizado es el DUCTER de la marca JAMES G. BIDDLE (ver figura 4.16, tiene un rango de medida de 0 a 20 Ohms. Los equipos de prueba cuentan con una fuente de corriente directa que pueden ser una batería o un rectificador.



**Figura 4.16** Equipo DUCTER para realizar la prueba de resistencia de contactos.

La prueba debe efectuarse en las partes más sólidas de los polos del interruptor para eliminar con ello la posibilidad de una lectura errónea. El valor máximo de resistencia de contactos permitido para un interruptor viene dado por la siguiente expresión.

$$\mathbf{RESIST. DE CONTACTO MAX.} = \frac{\mathbf{180\ 000}}{\mathbf{AMPERAJE NOMINAL DEL INTERRUPTOR}} \quad (4.10)$$

Por ejemplo para el interruptor del compresor K-101f con capacidad nominal de 1200 amperes la máxima resistencia de contactos permitida será de 150 micro-ohms.

$$\mathbf{RESISTENCIA DE CONTACTOS MAX.} \frac{\mathbf{180000}}{\mathbf{1200}} = \mathbf{150\ micro - ohms.}$$

### **RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.**

- El equipo bajo prueba debe estar des energizado y en la posición cerrado.
- Se debe de aislar a lo posible la inducción electromagnética, ya que esta produce errores en la medición y puede dañar el equipo de prueba.
- Limpiar perfectamente bien los conectores donde se van a colocar las terminales del equipo de prueba para que no afecten a la medición.

En la figura 4.17 se muestra en momento en el cual se está realizando la prueba de resistencia de contactos y muestra la conexión de las terminales del equipo ducter y las partes solidas del interruptor en las que se colocan los caimanes del equipo.



**Figura 4.17** Conexiones del ducter al interruptor

#### **4.5.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO**

La prueba de resistencia de aislamiento se efectúa con el MEGGER el potencial aplicado de prueba debe ser igual o menor al nominal del interruptor ya que al aplicarle un potencial mayor se dañaría el aislamiento.

**OBJETIVO DE LA PRUEBA:** Verificar que los aislamientos del transformador bajo prueba cumplen con la resistencia mínima soportable bajo la operación a la que serán sometidos, así como de comprobar la no inadecuada conexión entre sus devanados y tierra para avalar un buen diseño del producto y que no exista defectos en el mismo.

**INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN:** Los instrumentos de medición que se emplearán en esta prueba dependen del grado de exactitud de la lectura de la resistencia de aislamiento que se quiera conocer. Preferente mente la prueba debe efectuarse con megger motorizado (ver figura 4.18) y el tiempo de aplicación deberá ser de un minuto.

Al momento de efectuar la prueba al equipo deberá anotarse el potencial de prueba aplicado.



**Figura 4.18** Megger motorizado de 15 KV.

#### **RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.**

- Efectuar limpieza a barras, cámaras de arqueo y aisladores del interruptor.
- Verificar el nivel de aceite aislante.
- Si al efectuar la prueba se observa que la resistencia de aislamiento es baja, limpiar nuevamente los aisladores.
- Si persisten los resultados bajos, es conveniente meter al horno el interruptor.
- Un valor mínimo generalmente aceptado es de 100 MΩ por cada KV. Del interruptor.

La prueba se efectúa en los siguientes puntos (con el interruptor cerrado) (ver figura 4.19)

F1 – TIERRA	F1 – F2
F2 – TIERRA	F2 – F3
F3 – TIERRA	F3 – F1



**Figura 4.19** Realización de la prueba de resistencia de aislamiento.

### **CRITERIOS DE APROBACIÓN.**

No hay una buena cifra para determinar si una lectura de una resistencia de aislamiento es buena o mala, pero una buena guía es la de considerar 1 MW por cada 1000 Volts de prueba aplicados como una cifra mínima. Esto es aplicable a motores y transformadores.

### **4.5.3 PRUEBA DE LA UNIDAD DE DISPARO.**

Los interruptores generalmente utilizados en baja tensión son de la marca IEM tipo DS, los cuales cuentan con una unidad de disparo (AMPTECTOR) Que recibe las señales de corriente a través de un grupo de transformadores de corriente integrados en el propio interruptor. Cuando existe una condición anormal en el sistema y actúa la unidad de disparo, proporciona un impulso de corriente al accionador o actuador para ejecutar el disparo del interruptor. El actuador o accionador de disparo es activado por la unidad de disparo y está por los TC'S, no se requiere ninguna fuente externa para ejecutar el disparo por fallas.

La unidad de disparo amptector puede tener un total de cuatro funciones denominadas LSIG que significa lo siguiente:

L= LONG TIME (DISPARO DIFERIDAD LARGO)  
S= SHORT TIME (DISPARO DIFERIDO CORTO)  
I= INSTANTANEOUS (INSTANTANEO)  
G= GROUND (DISPARO POR FALLAS A TIERRA)

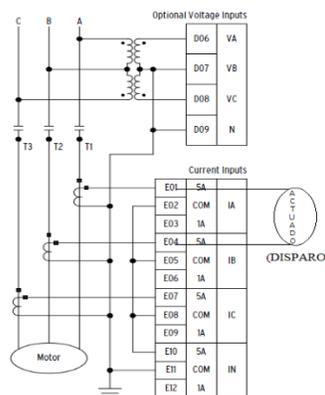
Para ajustar estos cuatro disparos se cuenta con seis controladores que se pueden mover con un desarmador:

- Para el disparo diferido largo se tienen dos controles: uno que ajusta la magnitud de la corriente y varia de 0.5 a 1.25 veces el rango del sensor, y otro que ajusta el tiempo, teniendo un rango de 4-36 SEGS, a seis veces el rango del sensor.
- Para ajuste del disparo diferido corto también se tienen dos controles uno que ajusta la magnitud de la corriente contando para ello con un rango de 4 a 10 veces el rango del sensor , y el otro control es para dar el ajuste del tiempo cuyo rango es de 0.18 a 0.5 segundos (11 a 30 ciclos para 60 Hz) a 2.5 veces el ajuste de la magnitud de la corriente normalmente el tiempo diferido corto tiene tres valores de ajuste; A 0.18, 0.33 y 0.5 segundos (banda mínima, intermedia y máxima respectivamente).
- Para el ajuste del disparo instantáneo se cuenta con un solo control, el cual se utiliza para ajustar la magnitud de corriente y su rango es de 4 a 12 veces el rango del sensor. Cuando la corriente que fluye por el interruptor rebasa el ajuste del instantáneo, el disparo se ejecuta sin retardo alguno.
- Para el ajuste del disparo por fallas a tierra se cuenta con un solo control, el cual se varía el tiempo de disparo, su rango de ajustes va de 0.22 a 0.5 segundos. El ajuste de la corriente de tierra es fijo al 20% del rango del sensor.

Cada unidad de disparo tiene una tabilla de terminales equipada con clavijas de prueba, accesibles desde la parte frontal del interruptor. Las terminales tienen marcas cuyo significado en el siguiente:

- A) Terminal del sensor de la fase “A”
- B) Terminal del sensor de la fase “B”
- C) Terminal del sensor de la fase “C”
- N) Terminal del neutro de los tres sensores anteriores
- G) Terminal de tierra
- OP) Salida positiva que va al accionador de disparo
- ON) Salida negativa que va al accionador de disparo
- DN) Discriminador negativo
- DS) Switch discriminador
- TP) Punto de prueba para verificar la magnitud de corriente a tiempo diferido largo.
- OSS) Señal de switch de sobre corriente a la unidad accesoría.
- DI) Libre.

Las conexiones de los sensores-unidad accionador son las siguientes:



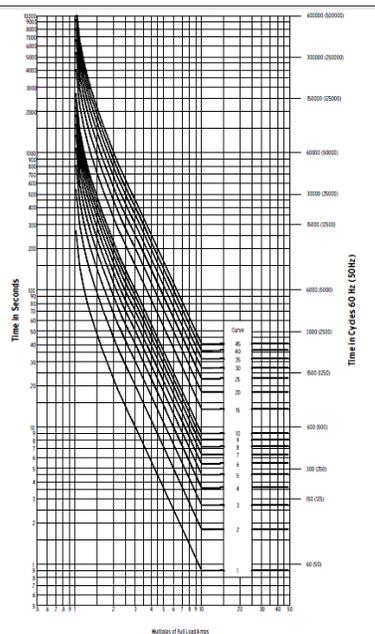
**Figura 4.20** Conexiones para realizar los disparos del interruptor

Para probar los disparos de un interruptor con unidad de protección LSIG se utiliza el Multi-amp modelo ms-1 A, son cuatro los disparos a probar y se procede de la siguiente manera:

- a) Sacar de su cubículo el interruptor por probarse
- b) Anotar los ajustes que tiene la unidad de disparo amptector
- c) Cerrar el interruptor
- d) Desconectar el neutro en la tablilla del amptector
- e) Probar el disparo diferido largo (L); para ello se hace lo siguiente:
  - Ajustar el control de corriente en 0.5
  - Ajustar el control de tiempo en 4 segundos
  - Aplicar en el multi-amp una corriente de 7.5 Amp en dos de las salidas de los sensores (p. ej. A y b), el disparo debe efectuarse en un tiempo de 35 a 70 segundos según la curva del fabricante.
- f) Probar el disparador diferido corto (S); para ello se hace lo siguiente:
  - Cerrar nuevamente el interruptor
  - Ajustar el control de corriente (L) en 1.25
  - Ajustar el control de tiempo (L) en 36 segundos
  - Ajustar el control de corriente (S) en cuatro veces el rango del sensor
  - Ajustar el control de tiempo (S) en 0.5 segundos
  - Ajustar el control de corriente (I) en 12 veces el rango del sensor
  - Aplicar con el multi-amp una corriente de 20 Amp en dos de las salidas de los sensores (b y c), el disparo debe efectuarse en un tiempo aproximado de 0.5 segundos según la curva del fabricante.
- g) Probar el disparo instantáneo (I); para ello se hace lo siguiente:
  - Cerrar nuevamente el interruptor
  - Ajustar el control de corriente (S) en 10 veces el rango del sensor.
  - Ajustar el control de corriente (I) en cuatro veces el rango del sensor.
  - Aplicar con el multi-amp una corriente de 20 Amp. en dos de las salidas de los sensores (p.ej. a y c), el disparo debe efectuarse instantáneamente.
  -
- h) Probar el disparo por falla a tierra (G); para ello se hace lo siguiente:
  - Cerrar nuevamente el interruptor.
  - Conectar el neutro en la tablilla del amptector.
  - Colocar el ajuste de tiempo de falla a tierra en 0.5 segundos.
  - Aplicar con el multi-amp una corriente de un ampere entre una de las salidas y el punto neutro (A y N), el disparo debe efectuarse en un tiempo de 0.5 segundos según la curva del fabricante. Por fallas a tierra no se tiene ajuste de magnitud de corriente, viene fijo de fábrica al 20% del rango del sensor.

- i) Una vez que han sido probados los cuatro disparos (unidades LSIG) se deben ajustar las perillas en las posiciones originales.

Las curvas de operación de la unidad de disparo son las siguientes:



**Figura 4.21** Corriente en múltiplos del rango del sensor.

#### 4.5.4 PRUEBA DE INTERRUPTORES CON EL MULTI-AMP

El probador de interruptores multi-amp, es una unidad de alta corriente diseñada para probar Interruptores de bajo voltaje y otros aparatos actuados con corriente.

La unidad cuenta con una alta salida de corriente alterna, un circuito de control, un reloj digital electrónico, un amperímetro de rango múltiple y un circuito para vigilar la apertura o cierre de contactos, la unidad es auto protegida contra sobrecargas y cortocircuito.

**Controles del probador: los controles con que cuenta el aparato son los siguientes:**

- switch selector de salida: este es un switch de ocho posiciones que da un ajuste burdo a la salida, la salida mínima se obtiene poniendo este switch en la posición uno y la máxima en la ocho.
- Potenciómetro de control: da un ajuste fino de la salida entre pasos del switch selector de salida.
- Botón de inicio: energiza la salida y pone en marcha el reloj.
- Terminal “ext. Init”: a través de esta terminal puede instalarse un switch externo de control remoto para la puesta en marcha del aparato.
- Contactos: estas terminales facilitan la conexión entre el aparato y un contacto del equipo bajo prueba para vigilar el momento en que este cierre o abra. El reloj se detendrá y el probador se desenergizará cuando opere el aparato bajo prueba.

- Continuación: esta terminal se encuentra en serie con una lámpara verde de tal forma que la acción de un contacto o continuidad de un circuito puede ser monitoreada.
- Interruptor: funciona como el switch de potencia de apagado-encendido y también da protección al aparato por sobrecarga y cortocircuito.
- Lámpara de “power on”: indica cuando el interruptor este “encendido” y existe energía disponible para la operación del aparato.
- Switch del amperímetro: selecciona el rango a escala completa del amperímetro
- Amperímetro: indica la salida de corriente
- Fusible de control: protege el circuito de control.
- Reloj: este es un reloj digital diseñado especialmente para indicar el tiempo transcurrido de prueba en ciclos o segundos. El reloj inicia automáticamente al inicio de cada prueba y se detiene cuando el aparato bajo prueba opera.
- Switch selector “tiempo en operación”: este es un switch de seis posiciones que selecciona cuál de los tres modos de operación es usado para el control de salida y tiempo de operación. Los tres modos son: (1) contacto normalmente abierto (N.O.), (2) contacto normalmente cerrado (N.C.) y (3) actuador de corriente (C.A.).

**(1) N.O.:** Cuando el aparato a ser probado tiene contactos normalmente abiertos (como un relevador de sobrecorriente) este tipo de operación es usado, en esta posición, el reloj carrera desde el inicio de la prueba hasta que el contacto conectado a las terminales “contactos” cierre.

**(2) N.C.:** Este tipo de operación es robado tiene contactos normalmente cerrados (tales como un interruptor de polos múltiples). En esta posición el reloj correrá desde el inicio de la prueba hasta que el contacto conectado a las terminales “contactos” abra.

**(3) C.A.:** Este tipo de operación es usado cuando el aparato a ser aprobado no tiene otros contactos (tal como un interruptor de un polo). En esta posición el reloj arrancara desde el inicio de la prueba hasta que el circuito de prueba es interrumpido.

Los tres métodos de operación pueden ser usados en las posiciones “MAINT” (mantenido) o “MOM” (momentánea).

**MAINT:** En esta posición, cuando se oprime el botón “INITIATE”, el circuito de control es sellado para mantener la salida del probador hasta que el aparato bajo prueba opere. Esta es la posición normal para tiempos de prueba.

**MOM:** En esta posición, el probador es energizado únicamente el tiempo que mantiene presionado el botón “INITIATE”, liberando este botón la corriente de salida desaparece. Esta posición normalmente es usada cuando se ajusta la corriente de prueba previamente al tiempo de prueba.

#### 4.5.5 REPORTE DE PRUEBAS REALIZADAS AL ARRANCADOR K-101f

 REF. "ING. ANTONIO DOVALI JAIME"	<b>Prueba de Arrancadores</b> 332-42627-RPO-003-4.8 (ANEXO 4)	No. DOCUMENTO: 332-42627-PO-003
		EMISIÓN: 22-10-2010 REVISIÓN: 8 ÁREA EMISORA: MANTENIMIENTO ELÉCTRICO. HOJA 1 DE 1

FECHA: 10 ENERO 2023

PLANTA: SERVICIOS PRINCIPALES II	SUBESTACIÓN: 2A.
SERVICIO: K-101f (COMPRESOR DE AIRE).	TENSIÓN: 4,160 VOLTS
CORRIENTE: 104 AMP.	MARCA: SIEMENS

#### RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

INTERRUPTOR CERRADO				VOLTAJE DE PRUEBA
F1-T	15,700 MΩ	F1-F2	178,000 MΩ	5,000 VOLTS C.D.
F2-T	15,500 MΩ	F2-F3	189,000 MΩ	5,000 VOLTS C.D.
F3-T	15,350 MΩ	F3-F1	195,000 MΩ	5,000 VOLTS C.D.

#### RESISTENCIA DE CONTACTOS

INTERRUPTOR CERRADO		
F1	0.008 mΩ	SI
F2	0.009 mΩ	SI
F3	0.009 mΩ	SI

#### PROTECCIONES ELÉCTRICAS

RELEVADOR	CALIBRACIÓN ANTERIOR	CALIBRACION ACTUAL	OPERÓ	
			SI	NO
SOBRECORRIENTE	3 AMPERES	IDÉNTICA	•	
FALLA A TIERRA	1.5 AMPERES	IDÉNTICA	•	
MEDICIÓN	5 AMPERES	IDÉNTICA	•	

#### RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CABLES ALIMENTADORES

ALIMENTADORES				VOLTAJE DE PRUEBA
F1-T	250,000 MΩ	F1-F2	1,250,000 MΩ	5,000 VOLTS C.D.
F2-T	230,000 MΩ	F2-F3	1,310,000 MΩ	5,000 VOLTS C.D.
F3-T	280,000 MΩ	F3-F1	1,300,000 MΩ	5,000 VOLTS C.D.

**OBSERVACIONES:** TC'S DE SOBRECORRIENTE 100/5  
SECUENCIA CERO 25/5

ERIC GONZAGA RUIZ  
OPERARIO EJECUTOR:

ING. LUIS MANUEL ZAPATA ESPINOZA  
ESP. TEC. "C" LAB. ELÉCTRICO:

## 4.6 PRUEBAS DE CONFIABILIDAD AL MOTOR K-101f

Pruebas a motores:

Las pruebas más comunes que se le efectúan a un motor de inducción son:

- Resistencia de aislamiento
- Índice de polarización
- Resistencia óhmica
- Prueba de potencial aplicado.

### 4.6.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Prueba de resistencia de aislamiento a motores:

La prueba de resistencia de aislamiento sirve para definir la oposición que presenta un aislamiento al paso de una corriente directa al ser sometido a una diferencia de potencial. Se mide en megohms y el instrumento utilizado para la prueba se llama Megger (ver figura 4.18) El aislamiento eléctrico se degrada con el tiempo debido a las distintas fatigas que se le imponen durante su vida normal de trabajo. El aislamiento está diseñado para resistir esas fatigas por un periodo de años que se considera como la vida de trabajo de ese aislamiento (es decir, décadas). La fatiga anormal puede llevar a un incremento en este proceso natural de envejecimiento que puede acortar severamente la vida de trabajo del aislamiento. Por esta razón es buena práctica realizar pruebas regulares para identificar si tiene lugar un incremento del envejecimiento y, si es posible, identificar si los efectos son reversibles o no. Cuando hablamos de equipos muy costosos, y/o para media o alta tensión, lo que generalmente se recomienda es comparar con las lecturas registradas del megohmetro con otras realizadas anteriormente para poder ver una tendencia y prescribir las acciones correctivas. En marzo del 2000 la directiva de estándares del IEEE (Asociación Internacional de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos), aprobó una revisión del standard que ha servido de guía para las medidas de aislamiento en máquinas rotatorias, el ANSI/IEEE 43-2000 (“Práctica recomendada para la medida de resistencia de aislamiento de máquinas rotatorias”). De acuerdo con el IEEE, el standard está dirigido para quienes fabrican, operan, prueban, dan mantenimiento o son responsables para la aceptación de máquinas rotatorias. El standard solicita: la prueba de resistencia de aislamiento y la prueba del índice de polarización (IP), y recomienda que ambas pruebas sean hechas.

La ANSI/IEEE 43-2000 recomienda un procedimiento para la medición de la resistencia de aislamiento de los bobinados de la armadura y del campo en máquinas rotatorias de potencias de 1hp, 750 W o mayor, y se aplica a:

- Máquinas síncronas
- Máquinas de inducción
- Máquinas de CC (corriente continua)

La norma indica la tensión de c.c. que se debe aplicar a la prueba de aislamiento (basada en los potencia de la máquina, y durante un minuto) y los valores mínimos aceptables de la resistencia de aislamiento para los bobinados de las máquinas rotatorias para CA y CC (es decir, la resistencia medida al cabo de un minuto).

La tabla 4.4 proporciona las guías para el voltaje de c.c. que será aplicado durante una prueba de resistencia de aislamiento. Nótese que los voltajes de hasta 10 kV son recomendados para bobinados clasificados a voltajes mayores de 12KV.

**Tabla 4.4**

Voltaje aplicado a motores de acuerdo con su tensión nominal.

Voltaje (V) del bobinado (V es la tensión entre fases para maquinas trifásicas y monofásicas, y la tensión nominal para máquinas de c.c. bobinados de campo.	Voltaje que se aplicará en la prueba de aislamiento.
<1000	500
1000-2500	500-1000
2501-5000	1000-2500
5001-1200	2500-5000
>12000	5000-10000

El standard recomienda que cada fase sea aislada y probada separadamente (de ser posible) dado que este acercamiento permite las comparaciones que deberán hacerse entre fases. Las dos fases que no están siendo probadas deberán ser puestas a tierra en la misma tierra que la del núcleo del estator o el cuerpo del rotor.

Cuando todas las fases son probadas simultáneamente, únicamente el aislamiento a tierra es probado. Las mediciones de resistencia de aislamiento deben ser hechas con todo el equipo externo (cables, capacitores, supresores de disturbios, etc.) desconectados y conectados a tierra debido a que estos objetos pueden influenciar la lectura de la resistencia. Deberá usarse un punto común de tierra. Asimismo, se establece que el historial de las pruebas deberá ser usado para el seguimiento de los cambios. Si el historial no está disponible, el standard proporciona valores mínimos para ambas pruebas (aislamiento e índice de polarización) que pueden ser usadas para estimar la situación en que se encuentra el bobinado.

La resistencia de aislamiento mínima, recomendada, después de un minuto y a 40°C, puede ser determinada de la tabla 4.5 La resistencia mínima de una fase del bobinado de una armadura de tres fases probada con las otras dos conectadas a tierra deberá ser aproximadamente del doble del bobinado total. Si cada fase es probada separadamente (con los circuitos de guarda estando usados en las fases que no están bajo prueba), la resistencia mínima (a 1 minuto) observada deberá ser tres veces el bobinado total.

**Tabla 4.5**

Resistencia mínima en Mohm de acuerdo a el año de fabricación de la maquina

Resistencia mínima, en Mohm, según IEEE 43-200	Maquina bajo prueba.
$KV+1$ (donde KV es la tensión nominal de la máquina, medida en voltios)	Para bobinados fabricados antes de 1970
100	Para motores de c.c. y estatores AC construidos después de 1970
5	Para máquinas de bobinados aleatorio y de formado, de tensiones menores a 1 KV.

La norma indica que si la resistencia a 1 minuto es mayor a 500 Mohm, entonces el cálculo del IP puede dejarse de lado.

Teniendo el motor desconectado se procede de la siguiente manera:

- limpiar con solvente eléctrico las terminales del motor
- cortocircuitar las tres terminales del motor
- conectar el cable de línea del Megger a las terminales del motor
- conectar el cable de tierra a la carcasa del motor

- seleccionar un nivel de voltaje de prueba inferior o igual al de operación del motor
- encender el Megger y tomar las lecturas a 15", 30", 45" y un minuto.

La prueba de resistencia de aislamiento nos ayuda a determinar la presencia de humedad, aceite, polvo, corrosión, daños o deterioro del aislamiento. Pero no debe tomarse como criterio exacto ya que tiene varias limitaciones como son las siguientes:

- Es imposible predecir el valor de resistencia al que fallaba un aislamiento ya que no tiene relación directa con su rigidez dieléctrica.
- Una medición aislada de resistencia de aislamiento a un voltaje deseado. No indica si la materia extraña responsable de la baja resistencia está concentrada o distribuida.

Si en un momento dado se tiene un motor con una resistencia de aislamiento inferior a la mínima recomendada y es indispensable meterlo a operar, puede hacerse, pero debe tenerse en mente que las condiciones son riesgosas y deberá programarse el paro de la unidad para someter el motor a un proceso de secado

#### 4.6.2 PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACIÓN

Prueba de índice de polarización a motores: La prueba de índice de polarización es una continuación de la prueba de resistencia de aislamiento. Como se vio anteriormente. La resistencia de aislamiento se incrementa con el tiempo debido a la disminución de la corriente de absorción dieléctrica. Dicha corriente es la que toma el aislamiento al polarizarse en un aislamiento deteriorado, la corriente de absorción dieléctrica desaparece rápidamente y en un aislamiento bueno, tarda aproximadamente 10 minutos. El índice de polarización es el valor obtenido de la resistencia a 10 minutos entre la de un minuto. En general, una relación baja indica poco cambio, consecuentemente aislamiento pobre, mientras que una relación alta indica lo opuesto. Las referencias a valores IP típicos son comunes en la literatura, lo que hace que esta prueba sea fácilmente empleada. Un índice de polarización bajo indica que el aislamiento está húmedo, sucio o se encuentra defectuoso. Los valores mínimos recomendados para el IP están basados en la clase de los materiales de aislamiento y se aplican a todos los materiales de aislamiento indistintamente de su aplicación de acuerdo con el IEC 60085-01: 1984.

**Tabla 4.6**  
Valores mínimos de IP de acuerdo a la clase de aislamiento

Tipo de aislamiento	Valor mínimo de IP
Clase A	1.5
Clase B,F o H	2.0

Generalmente los valores de IP son entre 2 a 5. Pero un IP muy alto (mayor de 5) puede estar indicando problemas de resaca miento en el aislamiento y posiblemente, luego de una inspección visual observemos zonas quebradizas en el aislamiento.

#### 4.6.3 PRUEBA DE RESISTENCIA ÓHMICA

Prueba de resistencia óhmica a motores:

La prueba de resistencia óhmica prácticamente se utiliza para comprobar si en las soldaduras o conexiones de los devanados existen falsos contactos o puntos de alta resistencia, o verificar si

existe algún devanado en cortocircuito. Cuando un motor se daña, la mayoría de las veces al devanado se va a tierra detectando la falla con una prueba de Megger, pero existen ocasiones en que el devanado no se va a tierra y únicamente se cruzan los devanados. La prueba que determina este tipo de fallas es la de “resistencia óhmica”. Para efectuar la prueba de resistencia óhmica a un motor se utiliza generalmente el “puente de wheatstone” y se deben seguir los siguientes pasos.

- teniendo desconectado el motor, limpiar perfectamente con solvente eléctrico las terminales.
- limpiar con una navaja las terminales en el punto donde se haga la conexión con el puente de wheatstone para tener un buen contacto.
- eliminar la resistencia óhmica de los cables del probador
- conectar el probador a I1-I2 del motor y ajustar a un valor cercano o superior al esperado
- encender el aparador y variar los ajustes hasta obtener el nulo.

El resultado de las tres lecturas debe ser similar, de lo contrario, será un indicio de que existe conflicto en los devanados

#### **4.6.4 MCE (EVALUADOR CIRCUITOS DE MOTORES) MCE MAX- PdMA**

Las pruebas realizadas al motor K101f fueron realizadas con el equipo MCE MAX-PdMA (ver figura 4.22)



**Figura 4.22** Realización de la prueba con el equipo MCE MAX- PdMA

El <sup>TM</sup> MCE (Evaluador Circuitos de Motores) (ver figura 4.23) es un probador de motores estático que produce un análisis detallado de las condiciones del circuito del motor en tan sólo tres minutos. El análisis del motor y circuitos asociados a través de pruebas de MCE <sup>TM</sup> permite la detección de fallos eléctricos en cualquiera de las cinco zonas de fallas. El <sup>TM</sup> MCE es rentable, ya que reduce el número de paradas no programadas debido a una falla prematura del motor y reduce la cantidad de reparaciones de motor y de reemplazos. Establecidos los valores base se almacenan y recuperan después de las pruebas posteriores para producir datos sobre las tendencias y las comparaciones. La unidad es autónoma, ligera, y opera con baterías permitiendo la creación de informes y gráficos de tendencias en el campo.

MCEMAX <sup>TM</sup> desarrollado por MCEGold <sup>®</sup> integra las pruebas, diagnóstico, control de inventario, programación y control de costos. El probador integral supervisa todas las zonas de falla potencial y permite la notificación inmediata de las condiciones alarmantes. La operación estática y dinámica única permite al MCEMAX <sup>TM</sup> ser utilizado en todas las aplicaciones y los motores sin importar el tamaño, tipo o condición.

La prueba inicial proporciona una medición completa de del Motor eléctrico. Proporciona una visión general del motor y su circuito en menos de 4 minutos.

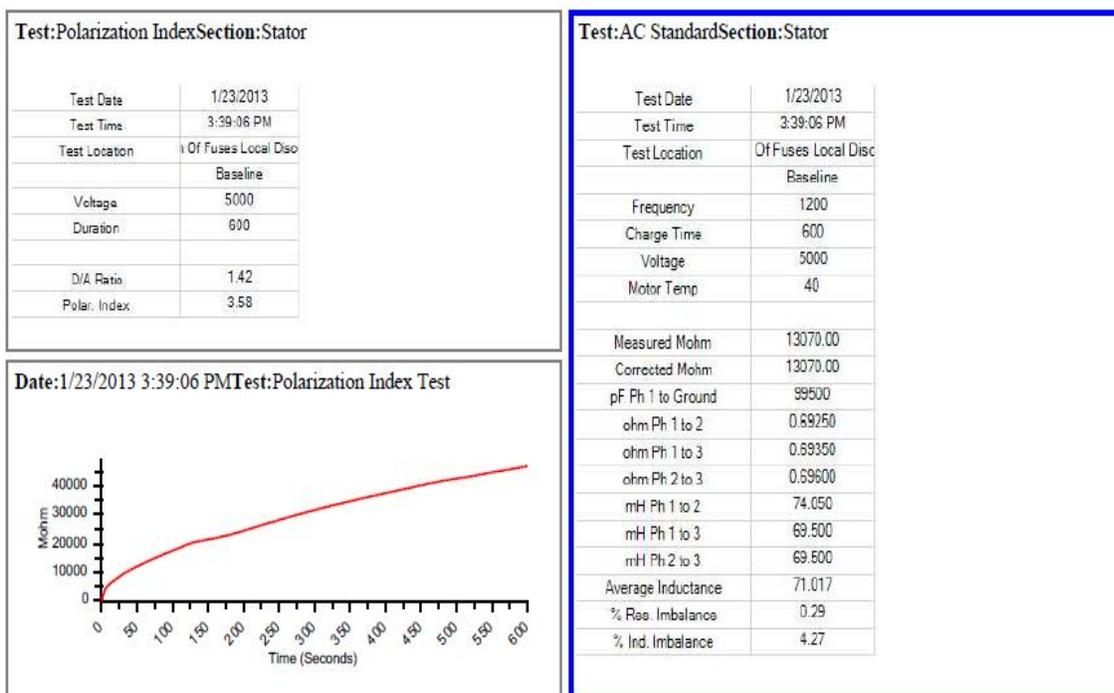
Muestra los valores y parámetros para la evaluación de falla del motor. Degradación de aislamiento es determinados por medio de leer valores de resistencia de aislamiento y la capacidad. Las mediciones de alta precisión de la resistencia de fase a fase y la inductancia permiten el cálculo de los desequilibrios los grandes desequilibrios inductivos indican defectos en el estator o mala conexión problemas en el circuito de alimentación. La inductancia promedio de y carga inductiva pueden indicar anomalías en el rotor, corto circuito entre las vueltas del devanado, excentricidad entre hierro o daño a banco de condensadores.



**Figura 4.23** MCE (Evaluador Circuitos de Motores)

#### 4.6.5 REPORTE DE PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR K-10

Report Title COMPRESOR K-101 F  
 Submitted By ROBESPIER REYES MORALES  
 Create Date 1/23/2013 4:09:19 PM  
 Asset Name K-101 E  
 Description REPORTE DE PRUEBAS



Remarks:

**Figura 4.24** Reporte de pruebas al motor K101f

## 4.7 PUESTA EN SERVICIO DE LA CONEXIÓN A TIERRA

Hay dos zapatas de tierra estándar NEMA en el bastidor del interruptor de potencia, una en el lado izquierdo y otra en el derecho. Hay una zapata estándar NEMA dentro del gabinete. Debe hacerse una conexión desde estas zapatas a la red de tierra de la estación. El conductor de conexión a tierra debe ser capaz de soportar el máximo de corriente de cortocircuito durante el período de la falla. Todas las uniones deben estar limpias, brillantes y libres de rebaba o superficies ásperas.

## 4.8 CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTES (TC'S) [11]

Normalmente los transformadores son de tipo de coeficiente múltiple con cinco conductores que proporcionan una amplia gama de coeficientes. Estos conductores se llevan a los bloques terminales dentro del gabinete del mecanismo. Cada conductor tiene una identificación que indica la conexión del transformador al cual está conectado con una letra en las cintas de marcado del bloque terminal. Consulte la tabla de la placa del transformador de corriente, la cual se monta en el interior de la puerta del gabinete, para determinar las conexiones requeridas para obtener el coeficiente deseado. Debe tenerse cuidado para no confundir la polaridad de los transformadores. Si hay alguna duda sobre el método apropiado de conexión, consulte los diagramas de polaridad, coeficiente y conexión.

Configuración de los TC's:

Se muestra la configuración apropiada para el uso de los TC's, para detectar corriente de fase. Cada uno de los TC's actúa como una fuente de corriente. La corriente que sale del TC en la fase 'A' fluye al TC interpuesto en el relé marcado 'A'. De ahí, la corriente se suma con la corriente que está fluyendo del TC en la fase 'C', la cual acaba de haber pasado a través del TC interpuesto en el relé marcado 'C'. Esta corriente 'sumada' fluye a través del TC interpuesto marcado 'B' y de ahí, la corriente se divide para regresar a sus fuentes respectivas (TC). Polaridad es bien importante puesto que el valor de fase 'B' debe ser el equivalente negativo de 'A' + 'C', de forma que la suma de todos los vectores sea cero. Notar que solo hay una conexión a tierra como se muestra. Si se realizan dos conexiones a tierra, se ha creado un camino paralelo para la corriente. En la configuración de los dos TC, las corrientes se sumarán vectorialmente en el punto común de los dos TC. El diagrama ilustra las dos configuraciones posibles. Si una fase está leyendo alto por un factor de 1.73 en un sistema que se sabe que es balanceado, simplemente invierta la polaridad de los conductores en uno de los dos TC de fase (teniendo cuidado que los TC estén todavía conectados a tierra en algún punto). Polaridad es importante.

Una vez más, si la polaridad de una de las fases está fuera por  $180^\circ$ , la magnitud del vector resultante en un sistema balanceado estará fuera por un factor de 1.73.

En un suministro de tres alambres, ésta configuración siempre funcionará y el desbalance será detectado apropiadamente. En el caso de una fase única, siempre habrá presente un desbalance grande en el TC interpuesto del relé. Si por ejemplo se pierde la fase 'A', dicha fase leería cero, mientras que ambas fases 'B' y 'C' leerían la magnitud de la fase 'C'. Si en otra forma, se perdiera la fase 'B', en el suministro, 'A' estaría  $180^\circ$  fuera de fase con la fase 'C' y la adición de vectores sería igual a cero en la fase 'B'.

## 4.9 INSTALACIÓN DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (TP'S) [10]

Deberán ponerse a tierra todas las partes metálicas de los transformadores de medida que no se encuentren sometidos a tensión.

Asimismo, deberá conectarse a tierra un punto del circuito o circuitos secundarios de los transformadores de medida. Esta puesta a tierra deberá hacerse directamente en las bornes secundarias de los transformadores de medida, excepto en aquellos casos en que la instalación aconseje otro montaje. En los circuitos secundarios de los transformadores de medida se aconseja la instalación de dispositivos que permitan la separación, para su verificación o sustitución, de aparatos por ellos alimentados o la inserción de otros, sin necesidad de desconectar la instalación y, en el caso de los transformadores de intensidad, sin interrumpir la continuidad del circuito secundario. La instalación de estos dispositivos será obligatoria en el caso de aparatos de medida de energía que sirvan para la facturación de la misma.

La instalación de los transformadores de medida se hará de forma que sean fácilmente accesibles para su verificación o su eventual sustitución.

Cuando los aparatos de medida no se instalen cerca de los transformadores de medida, se tendrá especial cuidado en el dimensionado de los conductores que constituyen los circuitos secundarios para evitar la introducción de errores en la medida.

En el caso de transformadores de tensión, deberán tenerse muy en cuenta tanto sus características y las de la instalación, como los valores de la tensión de servicio, para evitar en lo posibles la aparición de los fenómenos de ferro resonancia. Se prohíbe la instalación de contadores, maxímetros, relojes, bloques de prueba, etcétera, sobre los frentes de las celdas de medida donde la proximidad de elementos a alta tensión (MIE-RAT 12) presentan riesgos de accidentes para el personal encargado de las operaciones de verificación, cambio de horario y lectura.

## 4.10 ENERGIZACIÓN DEL MOTOR

### 1.-Energización:

- Se informa a la planta de fuerza y servicios principales.
- Se informa a operación de la energización del motor K-101f.
- Se procede a introducir el carro del interruptor k-101f en tablero eléctrico BUS A.
- Se sube la palanca de fuerza.
- De ahí pulsamos el botón de arranque cerrando así el circuito del arrancador.
- Por último, el selector manual lo seleccionamos en automático.
- Confirmamos el correcto funcionamiento del motor síncrono K101f.
- Monitoreamos los parámetros de operación del motor tales como vibración y temperatura.

### 2.- Desenergización:

- Informamos a la planta de fuerza y servicios principales.
- Se informa a operación la Desenergización del motor del compresor k-101f.
- Ponemos el selector manual en apagado.
- Bajamos el termomagnéticos de control.
- Por último, se baja la palanca de fuera
- Checamos la usencia y presencia de tensión
- Verificación de la tierra que está bien conectada.
- Checamos la resistencia óhmica del aislamiento de los cables de fuerza para asesorarse de una posible falla a tierra.
- Se coloca etiqueta y candado en el interruptor indicando que el motor esta fuera de operación y no se puede energiza

## CONCLUSION

El trabajo realizado muestra el sistema de operación del motor síncrono K-101F haciendo mención a sus distintos elementos los cuales se integraron al circuito eléctrico, la protección seleccionada es útil para examinar la eficacia de cada una de las distintas fallas, y brindar una protección eficaz y adecuada manteniendo a la maquina protegida, los cables seleccionados para la transmisión de la tensión alimentadora cumplen con los requerimientos necesarios para el área de trabajo en el cual se encuentra el equipo, el interruptor que brinda protección es confiable y muy seguro abriendo el circuito inmediatamente en caso de alguna falla,, las características de cada una de ellas, el proceso de selección fue echo de acuerdo al equipo especifico para brindarle una correcta protección. El propósito de ello a sido por un lado dar a conocer cuál es el tipo de material y equipos que se pondrían en servicio, para el motor síncrono analizando el proceso de selección tomando el adecuado para dicho motor, y por otra parte seleccionando el tipo de relevador adecuado ya que en el mercado existen muchas marcas y características tomando en cuanta el sistema de control de operación y en su caso analizar las posibles variables de protección conservando la integridad de las instalaciones.

Se dio a conocer la importancia de todos los elementos seleccionados para integración de este nuevo equipo se hace mención a cuales son las causas y los motivos para el cual se protege el motor síncrono de gran importancia, puede llegar a tener un inadecuado funcionamiento y cuales son las causas que originan las fallas en estos mismos cabe mencionar que se realizó una profunda indagación en dar a conocer los principales daños que ocasionan las averías en los devanados del motor y brindar una protección eficaz y correcta.

Se brinda un amplio contenido de las pruebas que se realizan a los motores y se dio a conocer las formas y los tipos de sistema de control que se pueden utilizar para la protección, medición, control, monitoreo adecuado y correcto para cada una de las posibles fallas que pudieran existir en su operación, se realizó de manera satisfactoria en distintas fuentes de información y por lo cual el objetivo propuesto fue cubierto de

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Andrés Videla flores Manual de motores eléctricos,
- [2] R.L. Mc. Intyre, Control de motores Eléctricos, Marcombo Boixareu editores 1990.
- [3] Centros de control de motores Freedom 2100 Manual de Instalación y Mantenimiento (cutler-hammer)
- [4] Pruebas y Mantenimiento a Equipos Eléctricos, Enríquez Harper, Limusa 2006
- [5] El libro practico de transformadores y motores eléctricos, Gilberto Enríquez Harper México, Limusa 2004
- [6] IEEE.57.12.90 Test code Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers 1999.
- [7] NOM-001-SEDE-2005
- [8] Lubricación tomo I, II y III J/G15/3
- [9] Manual de tableros blindados SIEMENS - Mercadotecnia – Silvano Ventura 16- 04-08.
- [10] Arrancador-Reversible, catálogo de arrancadores Industriales Siemens México 2009-Industria, corporate Información
- [11] Manual de Cables Electricos Aislados, Manuel Llorente Anton, Autor-Editor 2002
- [12] Irvin L. Kosow “Maquinas eléctricas y transformadores” Editorial Reverte.
- [13] Instructions Manual, Readme.txt, adobe Reader 6.0 Product Literature SEL 701.