

TUES  
1504  
L864a  
1998  
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA

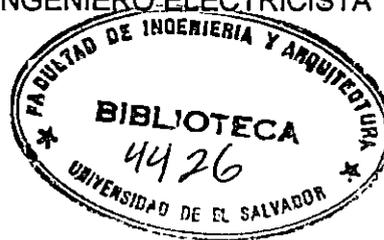


**"Estudio de Operación, Mantenimiento y Comportamiento de Interruptores de Potencia a Gas SF-6 y Habilitación de las Máquinas Filtradora de Gas SF-6 y Analizadora de Interruptores"**

PRESENTADO POR:

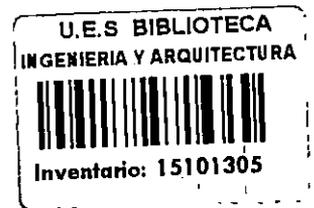
MOISÉS ABRAHAM LÓPEZ CALDERÓN  
JAIME MONZON CORTEZ  
RAÚL ENRIQUE RENDEROS BARRAZA

PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA



15101305  
15101305

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 1998.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL:

LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO:

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR EN FUNCIONES:

ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título:

**“Estudio de Operación, Mantenimiento y Comportamiento de Interruptores de Potencia a Gas SF-6 y Habilitación de las Máquinas Filtradora de Gas SF-6 y Analizadora de Interruptores”.**

Presentado por:

**MOISES ABRAHAM LOPEZ CALDERON  
JAIME MONZON CORTEZ  
RAUL ENRIQUE RENDEROS BARRAZA**

Trabajo de Graduación aprobado por:

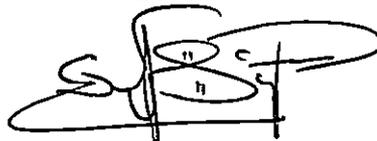
Coordinador y Asesor:



**ING. GERARDO MARVIN HERNANDEZ**



Asesor:



**ING. ROBERTO ACOSTA**



San Salvador, Febrero de 1998.

Trabajo de Graduación aprobado por:

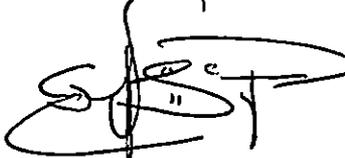
Coordinador y Asesor:

  
**ING. GERARDO MARVIN HERNANDEZ**

REGISTRO NACIONAL DE ARQUITECTOS E INGENIEROS  
GERARDO MARVIN JORGE HERNANDEZ  
INGENIERO ELEC. R.C.I.S.T.A. - Registro No. IE 0565  
M.O.P. - V.M.V.D.U. EL SALVADOR, C. A.

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Y ARQUITECTURA  
Universidad de El Salvador

Asesor:



**ING. ROBERTO ACOSTA**

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 13 de febrero de 1998 en el local de la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las catorce horas, en presencia del Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

1- Ing. Carlos Celso Márquez Linares

2- Ing. Ricardo Alfredo Colorado



Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación: "Estudio de Operación, Mantenimiento y Comportamiento de Interruptores de Potencia a Gas SF-6 y Habilidad de las Máquinas Filtradora de Gas SF-6 y Analizadora de Interruptores"

A cargo de los Bachilleres:

LOPEZ CALDERON, MOISES ABRAHAM

MONZON CORTEZ, JAIME

RENDEROS BARRAZA, RAUL ENRIQUE

Habiendo obtenido el presente trabajo una nota final, global de 8.5  
( ocho punto cinco )



## AGRADECIMIENTOS

Son innumerables las personas a las que tenemos que agradecer su apoyo, sin embargo de manera especial agradecemos a:

Ing. Marvin Hernández e Ing. Roberto Acosta, asesores de nuestro trabajo, que supieron orientarnos con sus sugerencias y recomendaciones en el transcurso de este.

Señor Joaquín Galeas por habernos proporcionado la ayuda técnica y la información oportuna, así como su confianza para la realización de este trabajo.

Los ingenieros Manuel Morales, por su valiosa ayuda desinteresada y apoyo, e Ing. Artero ya que él fue el canal para poder llevar a cabo este proyecto.

A personas como el Ing. Mario Hernández, Ing. Francisco Alarcón, Lic. Raúl Chavarría, Ing. Villacorta, Ing. Marta Merlos, Reina Videz, Ramón Díaz, por su valiosa colaboración incondicional en los momentos más oportunos.

Agradecemos de manera muy especial a la hospitalidad brindada en todo el desarrollo de este trabajo a la Sra. Beatriz por sus atenciones y a Karen Gutiérrez.

Agradecemos a Jorge Monzón y a Sandra Vaquero por proveernos de una herramienta básica como lo es la computadora, para el desarrollo de esta tesis.

A todas aquellas personas que de una u otra forma pusieron su granito de arena para la realización de este proyecto ya sea directa, indirecta, moral o materialmente.

EL GRUPO

## **DEDICATORIA**

Al Todopoderoso y especialmente a mi Madre que con mucho cariño, esfuerzo y sacrificio me ha brindado todo su apoyo, en todos sus aspectos.

A mi Padre por su abnegable apoyo moral, así como también a mi ya fallecida Abuela, por todo su apoyo desinteresado que me dio en vida.

A Iris, Gerson y Miguel por su comprensión, paciencia, cariño y amor brindado durante el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de tesis por la amistad, armonía, comprensión e incansable trabajo mostrado a lo largo de esta.

A mis compañeros de trabajo de la UCB, familiares y amigos por todo el apoyo que me brindaron para seguir adelante.

A todos los maestros y compañeros de estudio que tuve en el transcurso de esta carrera que hoy finalizo.

**MOISES ABRAHAM LOPEZ CALDERON**

## DEDICATORIA

A Dios nuestro señor por haberme dado la fuerza necesaria para cumplir uno de mis mas grandes deseos.

A mi madre Beatriz que se entregó completamente en obras y oración para ayudarme, animarme y comprenderme en este esfuerzo del que hoy vemos frutos.

A mi padre Rubén quien jamás dudó en brindarme su ayuda aunque esto significara un sacrificio.

A mis hermanos, Jorge por estar siempre dispuesto a tenderme una mano en todo momento, Ceci quien siempre me apoya y confió en que llegaría a la meta.

A Karen por su indudable amor e infinito apoyo, a Ivonne, Diego y Jennifer que son de las más grandes inspiraciones en mi vida.

También dedico este triunfo a todos aquellos amigos y amigas que estuvieron pendientes y deseosos de ver culminado satisfactoriamente este proyecto, a mis amigos de la UCB, Profesores y todo aquel compañero que estuvo siempre dispuesto a aportar su grano de arena para llegar a la meta.

**JAIME MONZON CORTEZ**

## DEDICATORIA

A DIOS todo poderoso por ser el eje principal de nuestra vida, el cual me permitió culminar satisfactoriamente mi sueño.

A mis padres Eida y Luis, a los cuales tengo mucho que agradecerles y es tan difícil resumirlo en unas cuantas líneas todo lo que han hecho por mi, infinitamente muy agradecido su hijo. Que Dios los bendiga siempre.

A mi esposa Roxana Arely por ese apoyo incondicional en todo momento y haberme dado aliento a seguir adelante para ver realizado este trabajo. Que Dios te bendiga amor.

A mi hija Gabriela la cual estuvo siempre pendiente de mí, y a la que le pido disculpas por robarle sin pedirle permiso el tiempo que a ella le correspondía. Que Dios me la cuide y la proteja siempre mi tiemita.

A mis hermanos, un cariño muy especial, por ese apoyo brindado incondicionalmente sin esperar nada a cambio y me lo brindaron cuando yo más necesite. Que Dios los bendiga siempre.

A mis sobrinos y primos, por haberme brindado su ayuda en algún momento durante el transcurso de mi carrera, Que Dios me los bendiga.

A todos aquellos que de alguna manera me brindaron su apoyo y me dieron aliento para seguir adelante y así ver realizado mis sueños. Muchísimas gracias.

**RAUL ENRIQUE RENDEROS BARRAZA**

## PREFACIO

Siendo los interruptores elementos activos importantes en cualquier sistema de potencia y considerando la tendencia actual de sustituir los interruptores de aceite por los de gas SF6 se considera importante hacer un estudio de estos que incluya aspectos relativos a su funcionamiento, mantenimiento y comportamiento. En este sentido se considero la necesidad de habilitar el equipo de mantenimiento para interruptores SF6 con que cuenta CEL, así como también describir el principio de funcionamiento de estos.

Los objetivos principales de este trabajo fueron la puesta en operación de las máquinas analizadoras de interruptores TM1600/MA61, la recicladora de gas PET 2015 y la analizadora de humedad (Medidora de punto de rocío DP9 ABB). Así como también hacer simulaciones para observar las señales de corriente y voltaje que aparecen en los interruptores bajo condiciones de falla por medio del software EMTP/ATP.

Los objetivos antes mencionados se cumplieron a excepción del análisis de velocidad y penetración de contactos el cual no se pudo realizar porque el equipo no cuenta con los transductores necesarios para ello.

## RESUMEN

A pesar que los interruptores de potencia a gas SF<sub>6</sub> son relativamente fiables, estos no están exentos de sufrir fallas o desperfectos, considerando lo anterior es necesario conocer el funcionamiento y comportamiento de estos para así poder aplicar un plan adecuado de mantenimiento preventivo.

**CAPITULO I.** Se detallan generalidades a cerca de interruptores de aceite y gas. Así como una descripción interna de las partes mas importantes de un interruptor de gas y su funcionamiento. Para lograr lo anterior se hizo una investigación bibliográfica y de campo, para relacionarse con ellos. Para describir su funcionamiento se uso el manual de operación del 72PM3112 de la ABB.

**CAPITULO II.** En este se detalla la operación y mantenimiento de las máquinas:  
**Analizadora de interruptores.** Luego de comprender el funcionamiento y operación de esta máquina se hizo pruebas a interruptores tales como cierres, aperturas, cierre-apertura-cierre, de las cuales se pudo diagnosticar el estado del interruptor referente a la simultaneidad de los contactos y rebotes en estos. Con estos resultados fue posible ajustar el interruptor.  
**Recicladora de gas.** A partir de los procedimientos detallados es este capitulo se hizo pruebas al gas contenido en el interruptor como por ejemplo: Evacuación del aire del reciclador, Bombeo de gas desde el disyuntor hacia el reciclador, Deshidratación y purificación del SF<sub>6</sub> dentro del reciclador, etc.  
**Analizadora de humedad,** A través del uso de este equipo fue posible analizar el grado de contaminación del hexafluoruro de azufre.

Para describir el funcionamiento de cada maquina se consulto el manual respectivo.

**CAPITULO III.** Se abordo teoría a cerca de fallas. Con parámetros reales de líneas de transmisión de nuestro país, se hizo simulaciones para observar lo que sucede en el interruptor cuando ocurre una falla. El simulador utilizado para dicho objetivo fue el software EMTP/ATP.

# INDICE

INTRODUCCIÓN	
OBJETIVOS .....	2
ALCANCES Y LIMITACIONES .....	3

## CAPITULO I. INTERRUPTORES DE POTENCIA

INTRODUCCIÓN .....	4
1.1 INTERRUPTORES DE ACEITE .....	5
1.2 INTERRUPTORES DE GAS SF6 .....	5
1.3 ESPECIFICACIONES PARA INTERRUPTORES .....	6
1.4 NORMAS PARA INTERRUPTORES .....	7
1.5 ANALISIS TECNICO DE ALGUNOS INTERRUPTORES DE POTENCIA INSTALADOS EN EL SISTEMA DE CEL .....	12
1.5.1 Descripción y funcionamiento .....	12
1.5.2 Instalación. ....	19
1.5.3 Principio de operación eléctrica. ....	23
1.6 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	25
1.7 CONCLUSIONES .....	26
1.8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27

## CAPITULO II. MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES

INTRODUCCIÓN .....	28
2.1 ANALIZADOR DE INTERRUPTORES TM1600 / MA61	
2.1.1 Descripción .....	29
2.1.2 Especificaciones para el TM 1600 .....	31
2.1.3 Especificaciones para el MA 61 .....	32
2.1.4 Diagrama de bloques del sistema TM1600 / MA61 .....	33
2.1.5 Preparativos para la operación.....	35
2.1.6 Preparación de transductores .....	35
2.1.7 Instrucciones de operación .....	39
2.1.8 Controles .....	39
2.1.9 Preparativos para medir .....	50
2.1.10 Ejemplo de una aplicación típica .....	53
2.2 RECICLADORA DE GAS SF6, MODELO PET 2015A	
2.2.1 Descripción .....	61
2.2.2 Evacuación del aire del reciclador .....	62
2.2.3 Bombeo de SF6 desde el disyuntor hacia el reciclador .....	62
2.2.4 Deshidratación y purificación del SF6 dentro de reciclador .....	63
2.2.5 Evacuación del aire del disyuntor antes de cargarlo SF6 .....	63
2.2.6 Cargado llenado del disyuntor con gas SF6 .....	64
2.2.7 Transferencia de SF6 desde la recicladora a los cilindros .....	64

2.2.8 Deshidratación y purificación del SF6 por la recirculación entre el interruptor y el reciclador.....	63
2.2.9 Llenado del reciclador desde cilindros con SF6 .....	66
2.2.10 Método alterno para llenar el reciclador desde cilindros estandar de SF6 .....	66
2.11 Servicio y mantenimiento .....	69
2.3 MEDIDOR DE PUNTO DE ROCÍO MBW DP9 ABB	
2.3.1 Generalidades .....	71
2.3.2 Descripción del instrumento .....	75
2.3.3 Puesta en operación .....	78
2.3.4 Indicaciones para medir.....	79
2.3.5 Cuidado y mantenimiento .....	82
2.4 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	85
2.5 CONCLUSIONES .....	86
2.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87

### CAPITULO III. SIMULACION DE FALLAS

INTRODUCCIÓN .....	88
3.1 MARCO TEÓRICO .....	89
3.1.1 Sobrevoltajes de origen externo .....	90
3.1.2 Sobrevoltajes de origen interno .....	92
3.2 SIMULACIÓN POR MEDIO DE ATP .....	99
3.2.1 Una visión global del programa ATP .....	99
3.2.2 Capacidad de ATP .....	100
3.2.3 Breve descripción del procedimiento de simulación .....	100
3.2.4 Aplicación .....	102
3.3 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	110
3.4 CONCLUSIONES .....	111
3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	112
ANEXOS .....	113

## INTRODUCCION

Dentro de cualquier red eléctrica sea grande o pequeña al ocurrir un fallo será necesario cortar la corriente con rapidez y seguridad para reducir los daños al mínimo.

Si no se dispara el interruptor la corriente de falla puede causar serios daños. Además, podría ser necesario desconectar una porción innecesariamente grande de la red para poder cortar la corriente de falla.

El interruptor es el eslabón activo de la cadena de protección . Por otro lado, como la función del interruptor no está duplicada es aún más necesario que funcione correctamente.

En tal sentido nuestro interés fundamental radicó en el estudio del funcionamiento, comportamiento y mantenimiento de los interruptores de potencia, específicamente interruptores de potencia a gas SF6<sup>1</sup>.

### Referente al mantenimiento:

- a) Se utilizó el analizador de interruptores de potencia con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de éstos en aspectos tales como:
  - Tiempos de cierre y apertura
  - Simultaneidad de los contactos
  - Rebotes de los contactos en condiciones de cierre.
- b) Se puso en funcionamiento las máquinas: recicladora de gas SF6 y analizadora de humedad con que cuenta CEL.

Cabe mencionar que el analizador de interruptores es útil para todos los tipos de interruptores de potencia, siempre y cuando posean un control de operación automático.

### Referente al comportamiento:

Se simuló, por medio de ATP, el comportamiento de los interruptores de potencia para una porción del sistema de potencia de CEL, utilizando parámetros reales y analizándolos en situaciones tales como:

- i) Operaciones de switcheo
- ii) Fallas

---

<sup>1</sup> Hexafluoruro de Azufre

# OBJETIVOS

## Generales:

1- Elaborar un documento que contenga información relativa a la operación, mantenimiento y comportamiento de los interruptores de potencia instalados en la red de CEL.

2- Por medio del software EMTP/ ATP y de parámetros reales de una red de potencia de CEL hacer simulaciones y observar el comportamiento de los interruptores a gas SF6 bajo condiciones de falla y operaciones de switcheo.

## Específicos:

1- Elaborar un documento para consulta y operación de las máquinas:

- Analizadora de interruptores
- Filtradora de gas SF6
- Analizadora de humedad

2- Utilizar el analizador de interruptores de potencia TM1600 para dar un diagnóstico y así poder brindarles a éstos un mantenimiento más eficiente.

3- A través de la utilización de la máquina filtradora y analizadora de humedad, reciclar el gas SF6 contaminado.

4- Por medio de ATP simular el comportamiento del interruptor ante las siguientes fallas:

- Cierres asíncronos
- Falla simple de línea a tierra
- Falla de dos fases a tierra
- Falla de tres fases a tierra

## ALCANCES Y LIMITACIONES

- 1- Los interruptores que se simularán serán interruptores de potencia a gas SF<sub>6</sub>.
- 2- Se estudiarán tanto en su operación, mantenimiento y comportamiento únicamente los interruptores de potencia a gas SF<sub>6</sub> usados en el sistema de CEL.
- 3- Optimizar el valioso equipo con que cuenta CEL y al mismo tiempo poner a disposición de estudiantes de Ingeniería Eléctrica y áreas afines una fuente de información detallada relativa a éstas máquinas e interruptores.
- 4- Las simulaciones que se realicen se harán únicamente para una parte de la red de potencia de CEL.
- 5- Dejar un precedente para futuras investigaciones sobre el comportamiento de los interruptores a gas SF<sub>6</sub> instalados en una red real.
- 6- Proporcionar a la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica de Río Lempa (CEL) un documento de operación de las máquinas, filtradora de gas, analizadora de humedad y analizadora de interruptores de potencia.
- 7- En el estudio de la máquina analizadora de interruptores no se pudo hacer pruebas como por ejemplo: penetración de contactos, velocidades de cierre-apertura, etc. debido a que el equipo no cuenta con los transductores necesarios para esto. Sin embargo se ha definido los procedimientos para su uso.

# CAPITULO I

## INTERRUPTORES DE POTENCIA

### INTRODUCCIÓN

Los interruptores de potencia son dispositivos que poseen mecanismos, los cuales están previstos para abrir y cerrar circuitos eléctricos de corriente alterna de alta tensión con intensidades nominales, con sobrecargas y con corrientes de fallas.

La separación de los contactos se realiza en un medio que favorece la extinción del arco e inmediatamente después permite la recuperación del aislamiento entre los contactos, de manera que la rigidez dieléctrica entre éstos sea superior a la tensión de restablecimiento.

La rápida y efectiva extinción del arco es una de las características deseables de los interruptores y para lograrlo se busca aumentar artificialmente la separación entre los contactos así como también disminuir la temperatura generada al momento de darse el arco. El aumento artificial de la rigidez dieléctrica se logra permitiendo que entre los contactos penetre una sustancia dieléctrica, la cual puede ser: aceite mineral, aire, aire comprimido o gas hexafluoruro de azufre a presiones determinadas.

Actualmente en las subestaciones de CEL se cuenta con interruptores de dos tipos:

- Interruptores de aceite: de gran volumen y pequeño volumen.
- Interruptores de gas SF<sub>6</sub>.

En este capítulo se incluye la descripción de los interruptores de potencia, las normas que deben cumplir así como también se detalla el funcionamiento, principio de operación y partes principales que conforman un interruptor a gas SF<sub>6</sub>.

## 1.1 INTERRUPTORES DE ACEITE

Los contactos de interrupción se encuentran sumergidos en aceite, contenido en un tanque metálico. El aceite debe reunir ciertas propiedades tanto físicas como eléctricas. Entre las propiedades físicas del aceite mineral pueden mencionarse: *viscosidad, punto de fluidez, gravedad específica y volatilidad.*

La viscosidad es importante para la circulación del aceite y para la transferencia de calor, así como el grado de libertad que puedan tener las piezas inmersas en él. El punto de fluidez conocido como punto de escurrimiento, es la menor temperatura a la que se observa fluidez (40 °C máximo). La volatilidad representa el valor de temperatura más bajo en la que se producen vapores para que el aceite arda (145 °C mínimo).

Entre las propiedades eléctricas se pueden mencionar: *resistencia dieléctrica, resistencia al impulso y constante dieléctrica.* La resistencia dieléctrica es el voltaje al cual el aceite permite arqueo entre dos electrodos (30 KV mínimo). La resistencia al impulso es la resistencia dieléctrica en condiciones transitorias.

Los interruptores de aceite se construyen en dos tipos generales:

a) De gran volumen de aceite

Tal como su nombre lo indica éstos poseen gran cantidad de aceite. El tanque no está completamente lleno de aceite, sino que entre el nivel del aceite y la parte inferior de la tapa, se deja cierto volumen de aire que actúa como amortiguador. Las potencias de ruptura más usuales van desde 500 MVA para tanques únicos hasta potencia mucho mayores para tanques separados entre sí para cada polo.

b) De pequeño volumen de aceite.

Se tienen interruptores de este tipo cuando se prescinde del aceite como aislante, sustituyéndolo por un recipiente por fase de material aislante y limitando el volumen del aceite, al justamente preciso para llenar la cámara donde se efectúa la ruptura.

Cuando se abren los interruptores debido a corrientes de sobrecarga muy intensas y cortocircuitos, es probable que se quemen en cierto grado los contactos a pesar de las propiedades del aceite para extinguir el arco. Esto quiere decir que con frecuencia se deberán inspeccionar los contactos y sustituirlos; también debe cambiarse el aceite a un cierto número de operaciones para mantener sus buenas propiedades aislantes.

## 1.2 INTERRUPTORES DE GAS SF6

Los interruptores de gas SF6 son aquellos que utilizan como medio de extinción del arco hexafluoruro de azufre, este gas tiene la propiedad de facilitar una rápida disipación del calor y reducir de esta manera el aumento de temperatura del equipo.

Algunas de las propiedades de este gas son:

- Incoloro
- Inodoro
- No inflamable
- No tóxico (En condiciones puras)

Es uno de los compuestos químicos más estable y también, uno de los gases más pesados. A una temperatura de 20 °C y presión atmosférica su densidad es 5 veces la del aire, su coeficiente de transmisión del calor a presión atmosférica, es 1.6 veces mayor que la del aire y a una presión de 2 kg/cm<sup>2</sup> este coeficiente es, aproximadamente, 25 veces la del aire a presión atmosférica. Esta es una propiedad muy interesante, pues facilita una rápida disipación del calor y reduce de esta manera el aumento de temperatura del equipo. Para mayor información de sus características y propiedades ver anexo 1.

El hexafluoruro de azufre es una sustancia fisiológicamente inerte, no ataca ningún material estructural a temperaturas menores de 500 °C y permanece estable a temperaturas a las cuales el aceite se oxida y descompone. Durante el paso del arco se producen fluoruros metálicos, los cuales se depositan en forma de polvo blanco pero debido a que poseen una gran rigidez dieléctrica no causan perturbación desde el punto de vista eléctrico, tiene una purificación mínima del 98%, 20 ppm máximos de humedad y 50 ppm máximos de material de ebullición superior que -60 °C.

Finalmente la rigidez dieléctrica del gas a presión atmosférica es más del doble que la del aire.

En principio, la operación de estos interruptores es de la siguiente manera:

Uno de los dispositivos sensa una falla (Transformador de corriente o potencial), en este momento el interruptor recibe una señal de apertura, produciéndose una sobretensión de hasta 550 KV a través de los contactos abiertos, el arco se produce y el gas fluye para extinguir el arco; luego que la falla ha pasado, la operación se invierte, mediante un mando local o remoto, ya que el interruptor es de desplazamiento reversible y los contactos vuelven a su posición de cierre.

### 1.3 ESPECIFICACIONES PARA INTERRUPTORES EN GENERAL

Toda especificación debe hacerse, basado en las necesidades de la instalación que se proyecta, las que responden a necesidades del consumidor o de carga. Estas especificaciones varían de acuerdo al fabricante y modelo del interruptor. Entre las más relevantes tenemos:

Características generales de servicio.

- ⇒ Voltaje nominal del sistema (KV) entre fases.
- ⇒ Frecuencia nominal del sistema en Hz.
- ⇒ Temperatura de operación (mínima y máxima)
- ⇒ Altura de operación del lugar de la instalación.

Características técnicas.

- ⇒ Voltaje máximo de diseño en KV entre fases.
- ⇒ Tipo de interruptor (gas, aceite)
- ⇒ Clase de interruptor (interior o exterior).
- ⇒ Operación (monofásico o trifásico).
- ⇒ Número de fases por unidad

- ⇒ Nivel básico de aislamiento al impulso por maniobras de interruptores en KV.
- ⇒ Corriente nominal continua en amperios.
- ⇒ Capacidad interruptiva en MVA o KV
- ⇒ Tiempo de cierre en milisegundos.
- ⇒ Tiempo nominal de interrupción no superior a milisegundos.
- ⇒ Tiempo de retardo permisible.
- ⇒ Número de operaciones del interruptor entre cada periodo de mantenimiento.
- ⇒ Base de montaje tipo plataforma y sobrepiso o columna.
- ⇒ Valor de corriente magnetizante que debe poder interrumpir.
- ⇒ Corriente nominal simétrica de corta duración en KV (valor eficaz).
- ⇒ Corriente nominal asimétrica de corta duración en KV (valor de cresta)
- ⇒ Material y acabado de las terminales de conexión.
- ⇒ Transformador de corriente, (relación de transformación y precisión).

Accesorios deseables para el interruptor:

- ⇒ Dispositivo de alarma de baja presión y circuito de control.
- ⇒ Contador de operaciones .
- ⇒ Indicador visual de posición del interruptor con señal visible (abierto/cerrado).

#### 1.4 NORMAS PARA INTERRUPTORES

Las características eléctricas de los interruptores están resumidas principalmente en términos de voltaje, corrientes y tiempo tal como lo mostramos en las tablas de valores nominales de la ANSI C37.06 , 1987 (ver anexo 2).

##### VOLTAJE

Las características de voltaje son definidas en términos de voltaje nominal rms, máximo voltaje de operación y tensión de cresta de aislamiento (KV):

- a) Voltaje nominal ( rms )  
Es el voltaje de operación del sistema eléctrico.
- b) Máximo voltaje nominal de operación (rms )  
Es el máximo voltaje para el cual el interruptor es diseñado, el cual debe ser mayor que el voltaje nominal del sistema.
- c) Tensión de cresta de aislamiento.  
Es la tensión máxima de un impulso de onda de  $1.2 * 50 \mu\text{seg}$  que se aplica al aislamiento del equipo

d) Factor de margen de voltaje de operación (K).

Es la razón entre el voltaje máximo y el voltaje mínimo de operación, para el cual se requieren capacidades interruptivas simétricas y asimétricas.

## CORRIENTE

Las características de corriente son definidas como sigue:

a) Corriente continua de operación (Amp rms)

Es la corriente en amperios rms a la frecuencia de trabajo, para la cual el interruptor ha sido diseñado .

b) Corriente de cortocircuito nominal (KA rms).

La corriente de cortocircuito nominal de un interruptor es el mayor valor de la componente simétrica de la corriente de cortocircuito polifásica o fase a fase.

## CAPACIDADES INTERRUPTIVAS

Las capacidades interruptivas de los interruptores están relacionadas con las corrientes de cortocircuito simétrico:

a) Máxima capacidad interruptiva simétrica.

Este valor viene dado en KA rms y se calcula así:

*Máxima capacidad interruptiva simétrica = K \* corriente de cortocircuito*

b) Capacidad de conexión (KA rms)

Es la cantidad de corriente que soporta el aparato en el momento de cierre.

*Capacidad de conexión = 1.6K \* corriente de cortocircuito*

## TIEMPO

Características de tiempo son dadas en términos de tiempos de interrupción:

a) Tiempos de interrupción.

Es el máximo intervalo de tiempo permisible entre la energización del circuito de desconexión y la interrupción del circuito principal.

b) Tiempo de desconexión atrasada permisible.

Es el máximo valor de tiempo para el cual el interruptor es requerido para llevar K veces la corriente de cortocircuito después de una maniobra de cierre y antes de la interrupción.

En resumen a continuación se muestra la comparación de las ventajas y desventajas entre los interruptores de aceite y de gas SF6.

**Tabla 1.1 Cuadro comparativo entre interruptores de potencia de aceite y gas SF6**

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>GRAN VOLUMEN DE ACEITE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Longitud pequeña del arco.</li> <li>✓ Mejor aislamiento entre piezas en tensión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Inflamabilidad del aceite en el caso de un fallo de ruptura.</li> <li>✓ La mezcla de gases y aire puede resultar explosiva, y en caso de inflamarse el aceite provocar la explosión del interruptor.</li> <li>✓ Reducción de las propiedades dieléctricas de aceite debido al carbón producido por el arco, por lo que es obligatorio efectuar visitas periódicas de inspección y limpieza de contactos.</li> <li>✓ Gran volumen.</li> <li>✓ Gran peso.</li> </ul>

Tabla 1.1 (continuación)

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Son autorregulables.</li> <li>✓ El tiempo de ruptura ante una falla excede muy raramente de 2 milisegundos.</li> <li>✓ Caída de tensión en el arco excepcionalmente baja, por lo que no hay que temer a sobretensiones en el momento de la extinción.</li> <li>✓ Mínima disipación de la energía.</li> <li>✓ Muy limitada carbonización del aceite.</li> <li>✓ Reducido deterioro de los contactos como consecuencia de la pequeña disipación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Su capacidad de ruptura está limitada por la capacidad de la envoltura de la cámara de extinción, para resistir la presión interna de los gases y por la cantidad de aceite del que se dispone en la inmediata proximidad del arco (volumen de la cámara).</li> <li>✓ Cada interruptor trifásico está constituido por tres polos separados por lo que el volumen total es grande.</li> </ul>

Tabla 1.1 (continuación)

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
GAS SF6	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El número de desconexiones que puede soportar es mucho mayor comparado con los de aceite.</li> <li>✓ Los residuos de fluoruro debido a la combustión no afectan la rigidez dieléctrica del SF6.</li> <li>✓ Debido a que su cámara de extinción es hermética asegura pocas posibilidades de contaminación en el interior de él.</li> <li>✓ Mínimo grado de combustión del SF6</li> <li>✓ Poco peso y pequeño volumen.</li> <li>✓ Menor tiempo de desconexión en condiciones de falla.</li> <li>✓ Disponible para rangos de capacidad y voltaje variados.</li> <li>✓ Su vida útil es mucho mayor que la de los interruptores de aceite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mayor costo de adquisición.</li> <li>✓ Necesidad de importación del gas SF6 para efectuar el mantenimiento.</li> </ul>

## 1.5 ANÁLISIS TÉCNICO DE ALGUNOS INTERRUPTORES DE POTENCIA A GAS SF6 INSTALADOS EN EL SISTEMA DE CEL

En la actualidad, específicamente en nuestro país, los interruptores de potencia a gas SF6 se han convertido en una de las partes más importantes de los sistemas de potencia ya que la protección, estabilidad y continuidad del servicio depende grandemente de la eficiencia de su operación. Este tipo de interruptores se construyen para sistemas de voltaje muy variados.

Características relevantes de este tipo de interruptores son:

- Alta capacidad de Interrupción.
- Corto tiempo de extinción del arco.
- Tiempo de recierre pequeño (orden de los milisegundos ).
- Larga vida de contactos.
- Fácil mantenimiento.
- Rápida limpieza de la falla.

### 1.5.1 Descripción y funcionamiento

A continuación presentaremos una descripción de las partes más importantes de las que constan los interruptores de potencia a gas SF6 .

TANQUE: Tal como se muestra en la figura 1.1, dentro del tanque se encuentran los interruptores, además el tanque sostiene los bushing y los transformadores de corriente, éste además está provisto de un disco de ruptura cuya función es proteger contra presiones internas excesivas.

BUSHING DE ENTRADA: El bushing está formado por una mezcla de porcelana brillante y cemento, así como también está provista de un par de pestañas de aluminio. Una barra colocada dentro del bushing (barra conductora) es unida a través de las pestañas en la parte superior e inferior del aislador.

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE: Cada bushing puede ser equipado con múltiples transformadores de corriente tipo argolla, los secundarios de los transformadores de corriente son llevados a través de tubería desde cada bushing hacia el gabinete de control donde van a los 6 puntos de tierra.

INTERRUPTORES: Específicamente esta es la parte del equipo que interrumpe la falla mediante una operación de apertura, o en su defecto conduce la corriente cuando el interruptor está en posición cerrada.

Las principales partes del interruptor son:

#### a) Trayectoria principal de corriente

Tal como se observa en las figuras 1.1 y 1.2, el flujo principal de corriente entra en el extremo superior del bushing y sale en el lado opuesto del interruptor (bushing de salida). La corriente pasa a través de la barra interna al bushing

y entra al interruptor a través de un contacto tipo plug-in, la corriente fluye hacia el interior del adaptador de pestaña, del tubo de soporte del interruptor y del contacto móvil. La corriente continúa a través de los contactos multilaminares hacia el interior de los otros contactos móviles, la corriente continúa a través de los contactos en la caja de ensamble, posteriormente sigue su camino por los contactos estacionarios, por una conexión empemada en la terminal del interruptor y finalmente llega al bushing de salida.

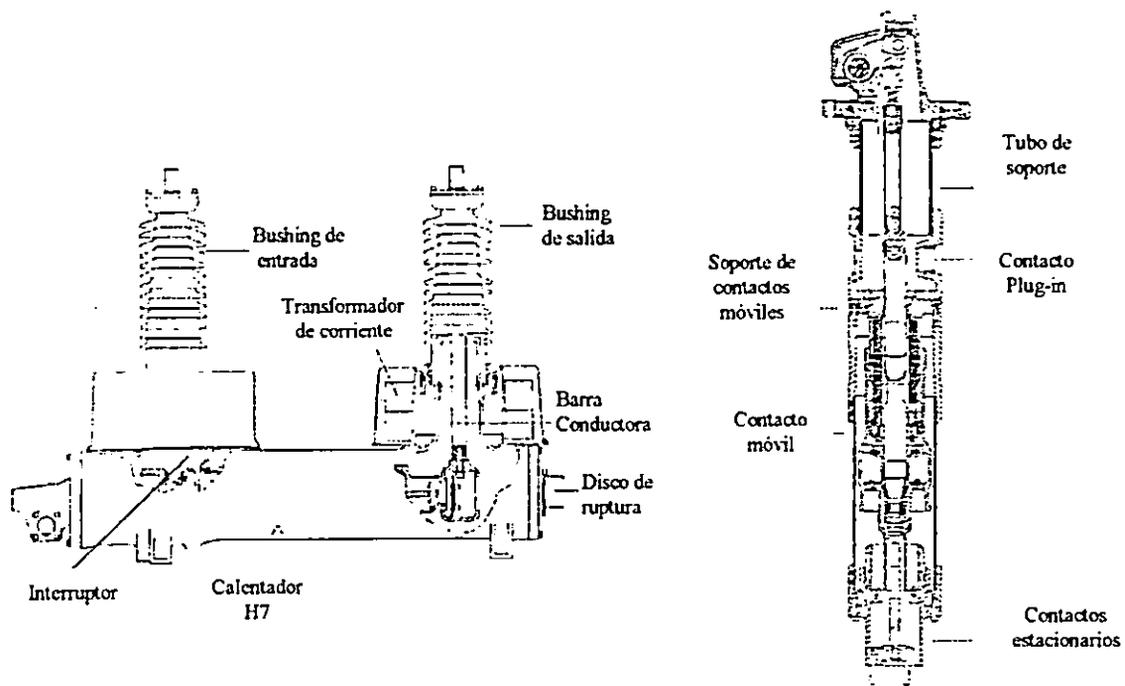


Figura 1.1 Elementos y trayectoria principal de corriente.

Figura 1.2 Elementos internos del interruptor.

**b) Instrucciones de operación del interruptor**

La operación dinámica de interrupción es mostrada en la figura 1.3, donde se observan tres posiciones instantáneas de los contactos durante una operación de apertura.

i) Posición de cerrado.

En la posición cerrada los parachispas se encuentran totalmente acoplados. Los contactos móviles y estacionarios son posicionados para contener un volumen máximo de gas comprimido SF6. Este gas fue introducido en el cilindro a través de una válvula previo a la operación de cierre.

ii) Interrupción.

A medida que los contactos principales del interruptor inician la apertura, la corriente se transfiere a los parachispas, mientras el interruptor continua abriéndose el movimiento del parachispas en el contacto móvil ensambla partes del parachispas estacionario.

Al mismo tiempo el parachispas extrae el arco el cual se extingue mediante un autosoplado de gas a presión en la cámara de extinción.

La corriente de gas fluye desde V1, extinguiendo el arco y restableciendo la potencia dieléctrica en la zona del arco. El mecanismo de la válvula de placa abre cuando la presión en V2 es mayor que en V1, la válvula de placa previene un aumento excesivo de presión en V2 y permite el uso de un mecanismo de baja energía para la interrupción de corriente pequeña, las cuales no pueden generar suficiente presión de gas en V1. Un volumen de gas comprimido SF6 fluye para extinguir el arco.

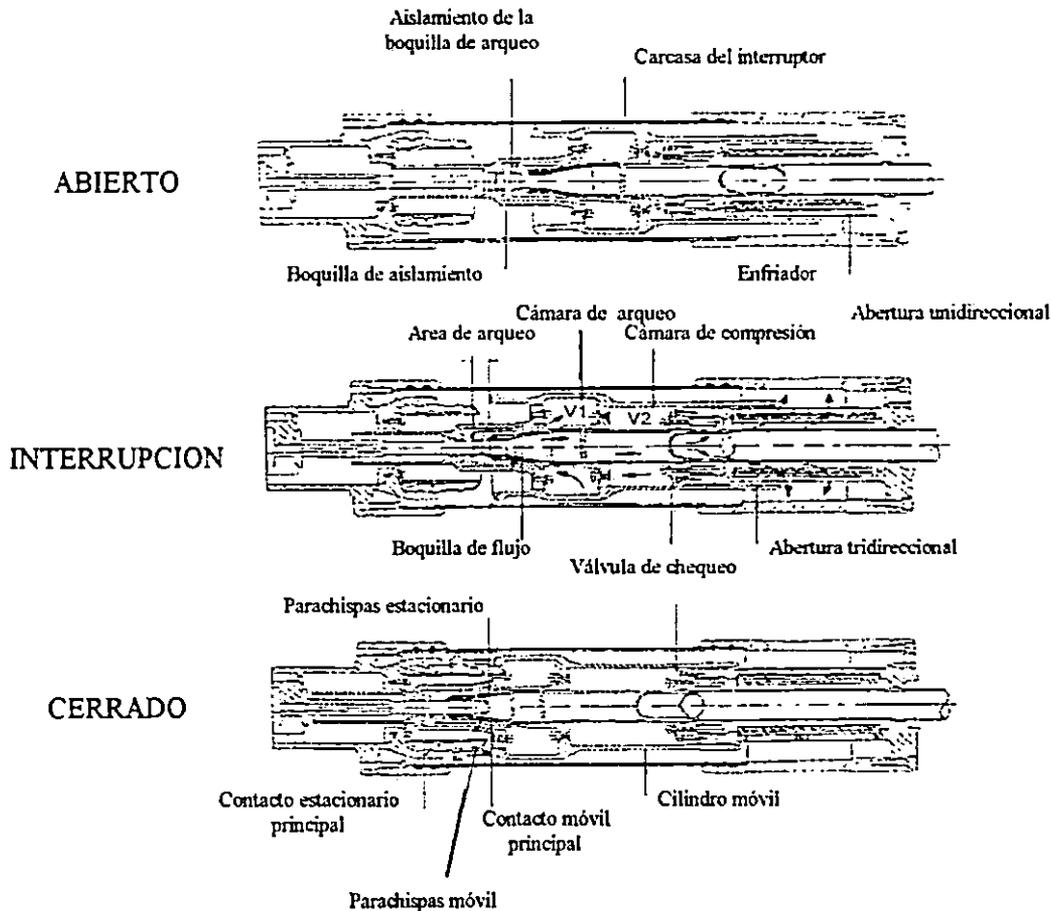


FIGURA 1.3 Operación dinámica de interrupción

iii) Posición de apertura.

La separación de los contactos está provista totalmente a su capacidad dieléctrica nominal y el interruptor está preparado para la próxima operación de cierre.

iv) Operación de cierre.

Cuando el interruptor se está cerrando, los parachispas cierran antes el contacto principal de la trayectoria de la corriente.

Cualquier arco que se produzca es confinado en los parachispas los cuales están protegidos con teflón. Debido al movimiento del pistón dentro del cilindro, V2 es llenado con gas SF6 a través de la válvula de placa localizada en los soportes de los contactos móviles como se muestra en la figura 1.4.

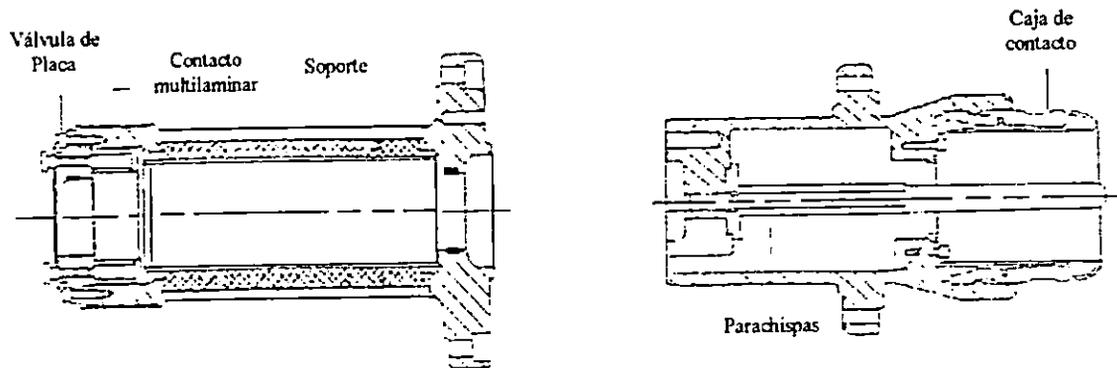


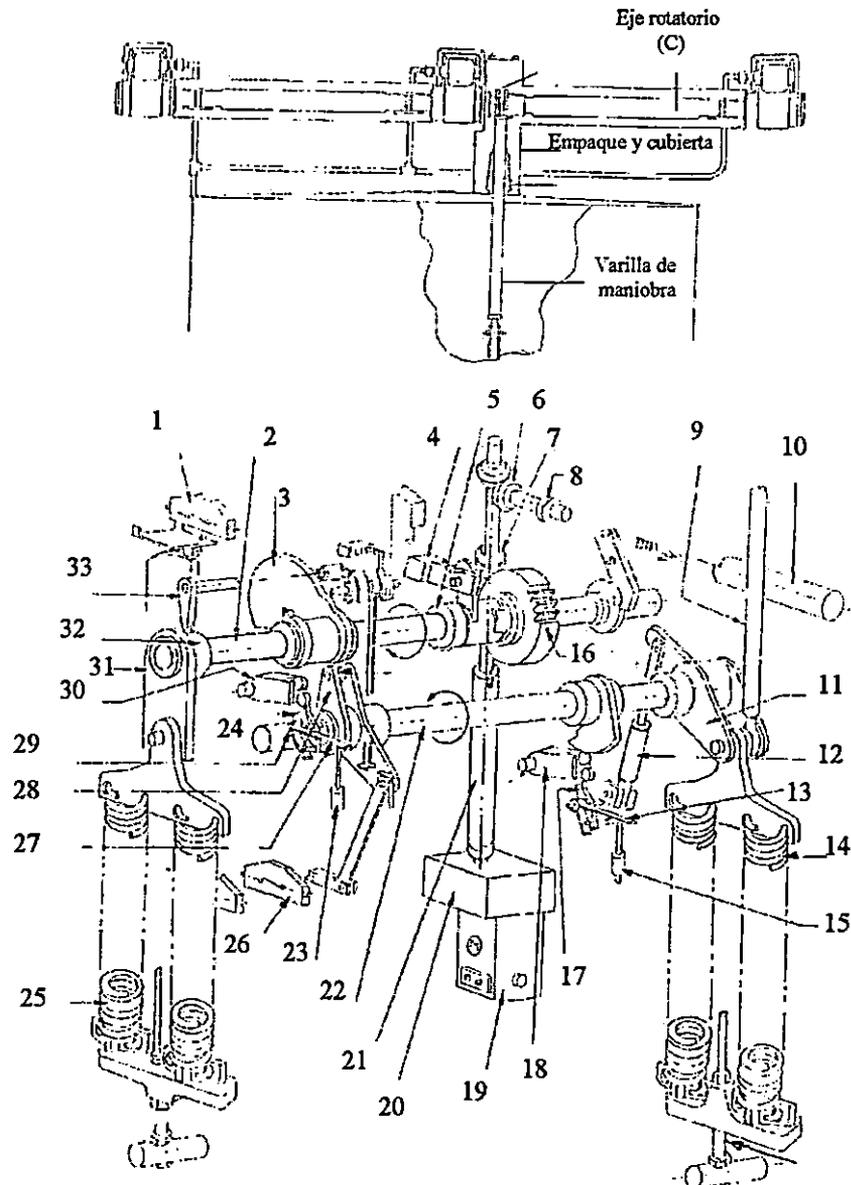
Figura 1.4 Contacto móvil y contacto estacionario

**MECANISMO DE INTERRUPCIÓN:** Cada modelo de interruptor de potencia a gas SF6 esta provisto de un mecanismo de interrupción propio, que si bien es cierto su principio de funcionamiento es el mismo, difieren en algunos detalles particulares.

Con el fin de comprender el funcionamiento del mecanismo de interrupción, describiremos el correspondiente al modelo 72PM3112B de la ABB.

El mecanismo de la figura 1.5, opera los tres interruptores (ver figura 1.2) a través de la manivela de accionamiento "A" y la varilla de maniobra es conectada a otra manivela "B" la cual acciona el eje rotatorio "C". El eje rotatorio acciona las tres manivelas figura 1.6, la manivela convierte el movimiento rotatorio en movimiento lineal dentro del interruptor. La varilla de maniobra pasa a través de una abertura en el techo del gabinete de control el cual está provisto de un empaque para evitar que el agua penetre en el gabinete. Las cubiertas protegen el empaque de acople, el pin de conexión, la manivela y el eje rotatorio.

El mecanismo de la figura 1.5, recibe comandos de operación desde el sistema de control eléctrico y los transfiere a movimientos mecánicos los cuales cierran o abren el interruptor.



- |                                     |                                  |                                 |
|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1. Switch de fin de carrera         | 12. Amortiguador hidráulico      | 23. Bobina de cierre            |
| 2. Eje principal                    | 13. Palanca de Disparo           | 24. Seguro de tope              |
| 3. Leva de cierre                   | 14. Resorte de apertura          | 25. Resorte de cierre           |
| 4. Jack de uña                      | 15. Bobina de disparo            | 26. Interruptores auxiliares    |
| 5. Jack de camisa                   | 16. Rueda del tornillo sin fin   | 27. Palanca de cierre           |
| 6. Filones                          | 17. Seguro de disparo            | 28. Palanca de operación        |
| 7. Tornillo sin fin                 | 18. Brazo de enganche de disparo | 29. Seguro de cierre            |
| 8. Via de acople de manivela manual | 19. Motor de carga               | 30. Brazo de enganche de cierre |
| 9. Varilla de maniobra              | 20. Caja de engranaje reductor   | 31. Manivela de cierre          |
| 10. Carga manual de resorte         | 21. Acople de motor              | 32. Leva                        |
| 11. Manivela de accionamiento (A)   | 22. Eje de accionamiento         | 33. Manivela                    |

Figura 1.5 Mecanismo de interrupción.

## **a) Descripción y funcionamiento de los componentes del mecanismo**

### **i) Eje principal**

El eje principal carga al resorte de cierre en adición al giro del eje de accionamiento por medio de la leva de cierre y la operación de la palanca . El eje principal es fijado a la posición de cargado por el seguro de cierre . La rueda y el tornillo sin fin transfieren movimiento desde la caja de engranaje reductora y el motor de carga , por lo tanto el resorte cierra a través de la manivela de cierre montada al lado izquierdo del eje principal.

### **ii) Eje de accionamiento.**

El eje de accionamiento carga el resorte de apertura a través de un movimiento causado por la leva de cierre del eje principal, acoplado el eje de accionamiento con la palanca de operación . Al mismo tiempo los resortes de apertura son cargados, el interruptor es cerrado por medio de la manivela de accionamiento y la varilla de maniobra los cuales están conectados al interruptor. La manivela de accionamiento proporciona una doble función: opera la varilla de maniobra del interruptor y también se conecta directamente al resorte de apertura .

### **iii) Seguros de cierre .**

Este seguro de cierre localizado en el lado izquierdo del mecanismo sujeta los resortes de cierre en la posición cargada por medio del brazo de enganche y está asociado con el sistema de palanca, el cual puede ser manualmente operado por medio de la palanca de cierre o eléctricamente por control remoto con la bobina de cierre .

### **iv) Seguros de apertura.**

Localizados en el lado derecho del mecanismo de sujeción de los resortes de apertura en la posición de carga por medio del brazo de enganche y esta asociado al sistema de palanca. Puede ser operado manualmente por medio de la palanca de disparo o eléctricamente a control remoto con la bobina de disparo.

### **v) Amortiguador hidráulico.**

Este provee amortiguamiento en las operaciones de cierre y apertura de los resortes.

### **vi) Bloqueadores eléctricos y mecánicos.**

Los bloqueadores mecánicos son incorporados dentro del sistema de enganche de cierre. El seguro de tope detiene la operación de cierre si el sistema ya está cerrado o si los resortes de cierre no están totalmente cargados.

Los bloqueadores eléctricos también detienen la operación de la bobina de disparo si el mecanismo ya está disparado. También hay bloqueadores eléctricos para proteger la operación del motor de carga cuando el resorte ya está totalmente cargado. Estos están formados por interruptores auxiliares y limitadores o de fin de carrera .

### **vii) Interruptor de fin de carrera del motor.**

La operación de interrupción depende del estado de carga del resorte de cierre y es controlado por la leva y la manivela.

viii) Sistema para cargar el resorte.

El motor de carga provee potencia para cargar el resorte de cierre a través de la caja de engranaje reductora y el acoplamiento del motor. El acoplamiento del motor se hace con la caja de engranaje a la salida del tornillo sin fin y la rueda del mismo.

La rueda del tornillo sin fin esta acoplada al eje principal mediante el jack de uña y el jack de camisa . El motor proporcionado es un motor universal (AC/DC).

El diseño del sistema de carga del resorte permite que el motor inicie sin carga, esto reduce la corriente de inicio siendo menor que la corriente pico a plena carga.

ix) Manivela manual.

La aplicación de la manivela manual con su mecanismo permite la operación de recarga del resorte de cierre con seguridad, rotando la rueda del tornillo sin fin a través del conjunto de piñones y una vía de acople para la manivela.

Si por cualquier motivo el motor se enciende mientras la manivela está siendo usada, una de las vías de acople desengrana, esto evitará accidentes para el operador.

No existe otro medio recomendable para recargar el sistema manualmente. Aproximadamente 30 revoluciones completas de la manivela manual son necesitadas para recargar el sistema. Un rach es incluido en el mango de ésta y una cubierta para su fácil operación. No hay peligro de sobrecarga al sistema debido al desenganche automático del jack.

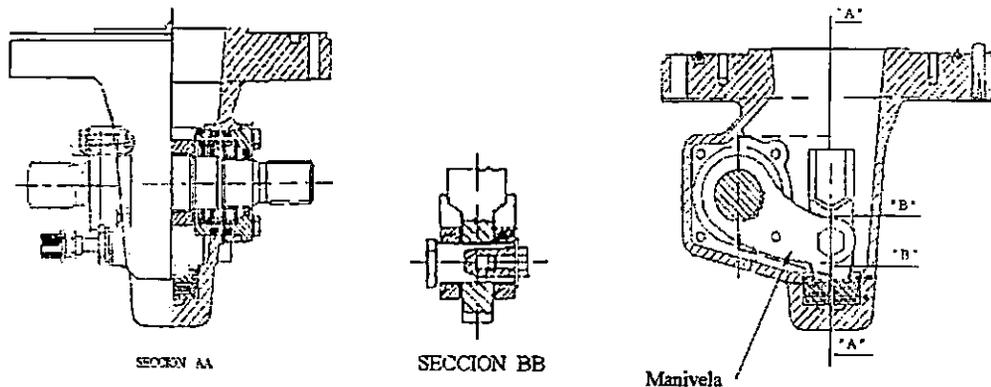


Figura 1.6 Manivela de accionamiento

x) Doble disparo.

Los interruptores estándares son suministrados con una bobina de disparo, además poseen una segunda bobina, las cuales son capaces de disparar el interruptor independientemente.

xi) Disparo manual.

Un dispositivo de disparo manual es suministrado con el interruptor, figura 1.7. Está localizado en el mecanismo de operación y cuando es operado, el interruptor es disparado manualmente bloqueando el circuito de cierre hasta que el mecanismo es reseteado. El sistema de disparo manual esta diseñado para aceptar una llave de bloqueo.

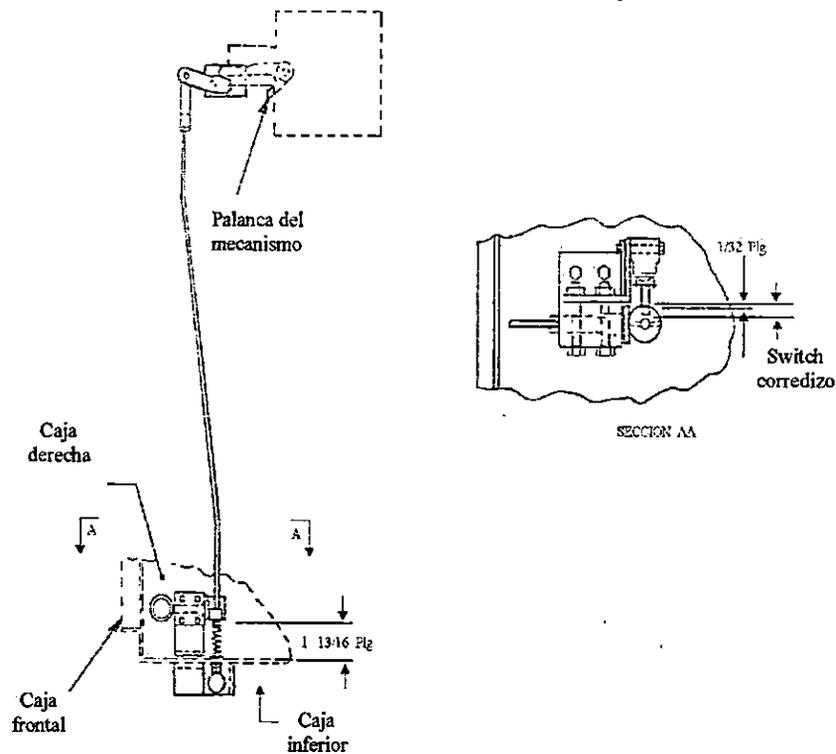


Figura 1.7 Dispositivo de disparo manual.

### 1.5.2 Instalación

A continuación se describe los elementos más importantes que deben tenerse en cuenta al momento de instalar un interruptor de potencia a gas SF6.

#### a) Levantamiento.

Todos estos tipos de interruptores están provistos de argollas para facilitar su levantamiento y transporte, figura 1.8. Al estar suspendido se podrán extender las patas del interruptor y de esta forma ser instalado en la plataforma de trabajo.

#### b) Aterrizaje.

La estructura del interruptor deberá ser permanentemente aterrizado. Dos redes resistivas son incluidas, soldadas al frente y en la parte posterior de la base de la estructura. Un terminal de tierra debe también ser aterrizado en la parte de atrás del gabinete de control.

El cable de tierra esta capacitado para llevar la corriente de falla del interruptor.

Es importante hacer notar que es esencial mantener una resistencia de tierra baja para garantizar la protección del equipo y sobre todo del personal.

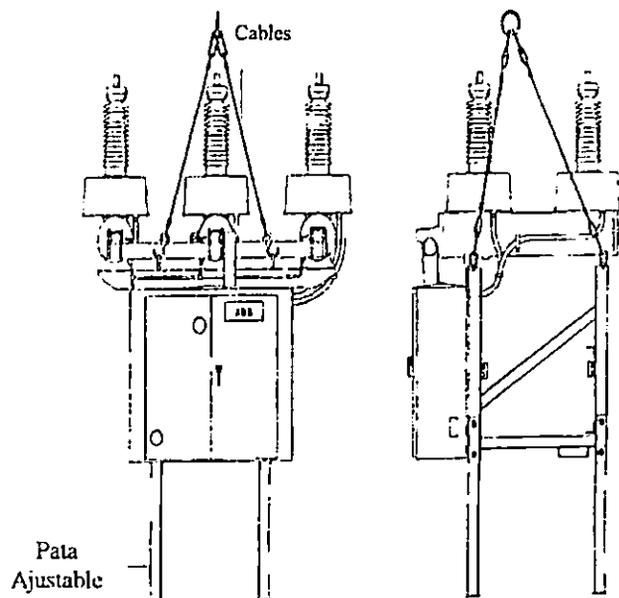


Figura 1.8 Montaje

**c) Instalación de bushing.**

El interruptor tiene un contacto metálico de plata para unir la parte superior del bushing en el lugar de instalación, además es recomendable engrasar las roscas al instalar las terminales de los bushing.

Los interruptores tienen que ser ajustados y probados por el fabricante además de su total ensamble. El interruptor contiene una carga parcial de SF6.

Todas las conexiones eléctricas tienen que ser realizadas para así poder hacer una prueba del estado del equipo, pudiéndose hacer en la siguiente secuencia:

**i) Alambrado del equipo de control y equipo secundario.**

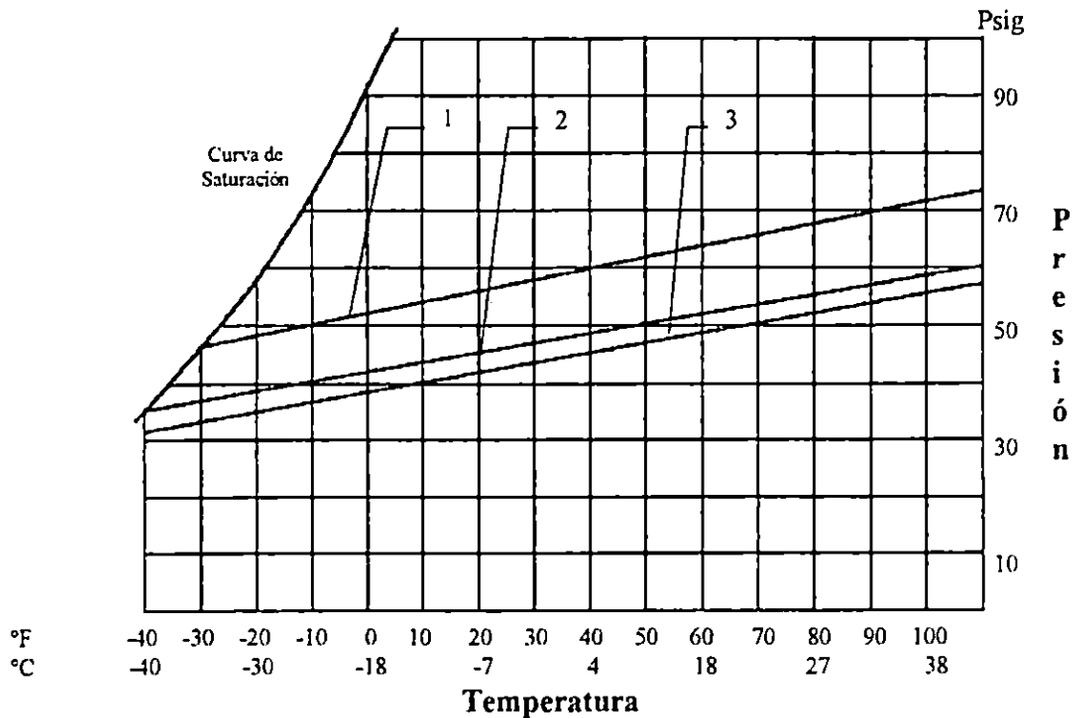
El equipo de control y el auxiliar tienen que ser ajustados y probados por el distribuidor. Los diagramas de alambrado de las conexiones externas y el mecanismo de control de voltaje y presión aparecen en una placa indicadora.

**ii) Transformadores de corriente.**

Los transformadores de corriente, relés y medidores vienen instalados de fábrica y aterrizados en el gabinete de control. Una placa dentro del gabinete indica la localización, precisión y relación de transformación de corriente.

**iii) Llenado del interruptor con gas SF6.**

Es necesario completar el llenado del tanque del interruptor con gas SF6 a 65 psi (450 Kpa) a 70°F. Cuando se llena con gas SF6 se debe compensar la variación de temperatura tal como se muestra en la figura 1.9.



1- Presión de llenado normal en psig 2- Alarma de baja presión 3- Operación de bloqueo de interrupción de baja presión

Figura 1.9 Diagrama PT del SF6.

Tabla 1.2 Presiones de llenado para interruptores de potencia SF6

°F	°C	* Lleno Psi	**Lleno KPa	* Alarma Psi	**Alarma KPa	*Disparo	**Disparo
110	43	72	495	58	403	55	382
100	38	70	483	57	393	54	373
90	32	68	472	56	384	53	363
80	27	67	460	54	375	51	354
70	21	65	448	53	366	50	345
60	16	63	437	52	356	49	336
50	10	62	425	50	347	47	326
40	4	60	413	49	338	46	317
30	-1	58	401	48	328	45	308
20	-7	57	390	46	319	43	298
10	-12	55	378	45	310	42	289
0	-18	53	366	44	300	41	280
-10	-23	51	354	42	291	39	270
-20	-29	50	343	41	282	38	261
-30	-34	46	316	40	272	37	252
-40	-40	38	261	38	263	35	242

\* ± 2 Psi

\*\* ± 5 KPa

Las propiedades del gas SF6 están especificadas de acuerdo a ASTM D2472-71. Opcionalmente puede utilizarse un filtro secador colocado en serie para llenar el interruptor.

El llenado desde un tanque de cilindro podrá hacerse solamente si el tanque del interruptor no esta abierto y la presión remanente en el tanque es de aproximadamente 5 Psi (34.5 Kpa) a 70 °F.

Para inyectar gas SF6 al interruptor se debe aflojar la conexión F, figura 1.10 y conectar ahí la manguera, limpiarla y pasarla por el filtro (opcional), permitiendo que el gas pase del tanque aislado del aire y la humedad. Cerrar la válvula del gas y apretar la conexión F. Abrir la válvula, luego abrir la válvula en el regulador del cilindro del SF6; lentamente llenarlo a la presión especificada, figura 1.9. Una tanque de gas SF6 es suficiente para llenar un interruptor.

Cuando el llenado se haga en ambiente de temperatura muy baja el cilindro puede ponerse en agua caliente para convertir el líquido SF6 en gas, dentro del cilindro.

El llenado de un interruptor en servicio es similar al descrito anteriormente.

Antes de aplicar gas a presión al interruptor es necesario asegurarse que la bomba de llenado esté abierta .

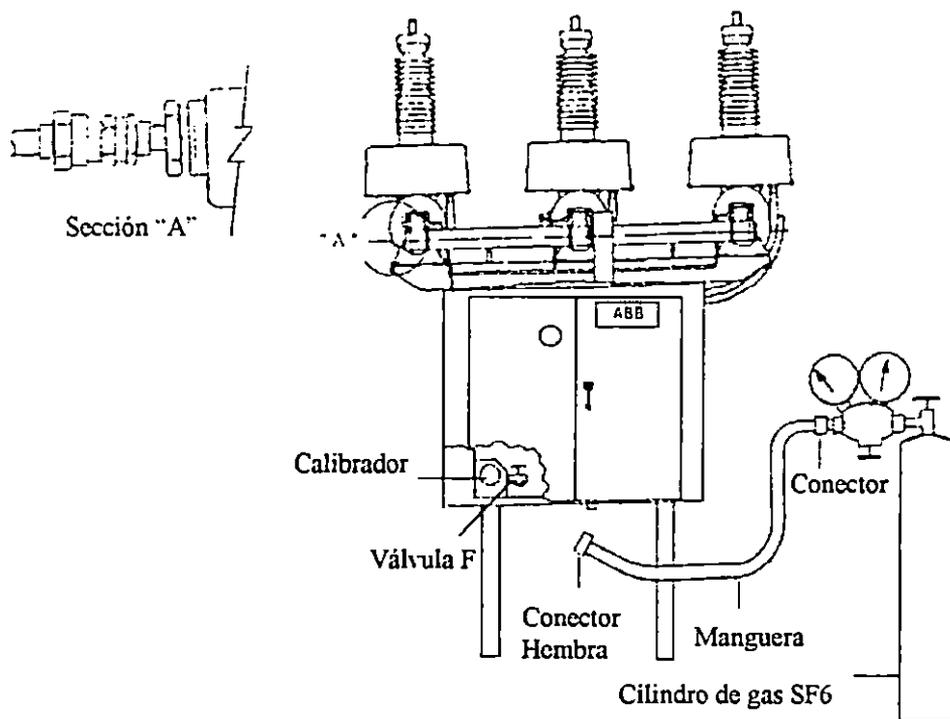


Figura 1.10 Llenado del interruptor con SF6

### 1.5.3 Principio de operación eléctrica

#### a) Control DC (figura 1.11)

Las siguientes condiciones son necesarias para cerrar el interruptor eléctricamente:

- Conexiones de control.

Todas las conexiones especificadas con control remoto incluyendo el voltaje de control nominal deben ser hechas y energizarse. De acuerdo al diagrama de conexiones suministrado con cada interruptor.

- Resorte de cierre.

El resorte debe estar cargado para cerrar, y la presión del gas debe ser mayor que la del punto de bloqueo para el interruptor.

- El interruptor debe estar en la posición abierta.
- Llave de mando.

Con las condiciones dadas anteriormente, el interruptor puede ser cerrado por una operación de la llave de mando (CS/C) o por el cierre de contactos remotos:

##### 1) Cerrando el interruptor.

La operación de la llave de mando local (CS/C) o la activación remota de la bobina de cierre genera una operación de cierre.

Cuando hay un cierre del interruptor un switch auxiliar "A" energiza los contactos del relé "Y", de esta forma se desconecta el circuito de la bobina de cierre el cual ha sido desenergizado por un contacto del switch auxiliar "B".

##### 2) Abriendo el interruptor.

Una vez cerrado el interruptor puede ser abierto por la operación local de la llave de mando (CS/T) o la activación remota de la bobina de disparo.

Un switch auxiliar "A" desenergiza el circuito de la bobina de disparo hasta completar la operación de apertura.

#### b) Control AC (figura 1.11)

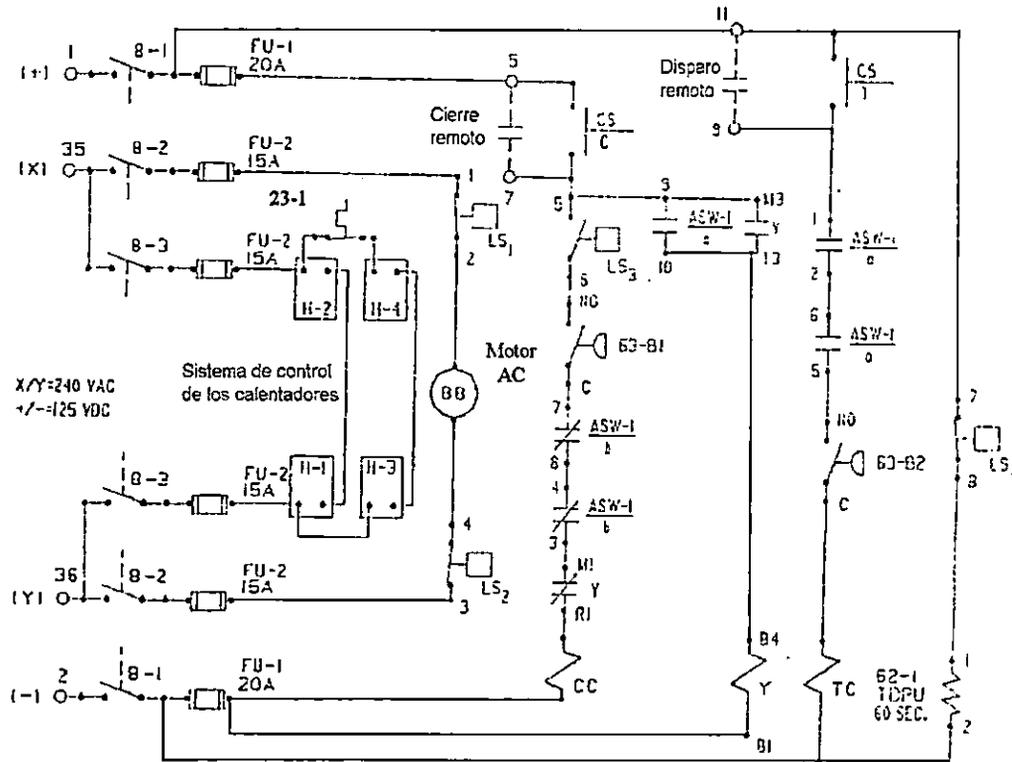
El motor que carga el resorte, los calentadores de condensación, el calentador del tanque y los calentadores del gabinete son alimentados por una fuente auxiliar AC.

#### c) Calentadores

Los calentadores H1 y H2 son energizados continuamente con el calentador de condensación localizado en el gabinete de control. H3 y H4, también ubicados en el gabinete de control, son controlados por el termostato (23).

#### d) Calentador del tanque.

El calentador del tanque H7, figura 1.1, previene que el gas suministrado se licúe con la operación esperada del interruptor en áreas donde la temperatura mínima cae abajo de  $-40^{\circ}\text{F}$  ( $-40^{\circ}\text{C}$ ). El calentador es energizado por el termostato (23) cuando la temperatura cae abajo de  $-10^{\circ}\text{F}$  ( $-23^{\circ}\text{C}$ ).



- CS/C = Interruptor de control/cerrado
- CS/T = Interruptor de control/disparo
- ASW-1/a,b = Interruptor auxiliar/contacto auxiliar
- LS<sub>1,2</sub> = Contactor mecánico interruptor limitador del motor
- LS<sub>3</sub> = Relé/interruptor limitador
- LS<sub>4</sub> = Interruptor limitador de cierre/velocidad de descarga
- 63-B1,B2 = Compensadores de temperatura
- TC = Bobina de disparo
- 62-1 TDPU = Relé de tiempo 60 seg.
- Y = Relé anti-bombeo
- CC = Bobina de cierre
- FU = Fusibles
- 8-1 = Control 5W. DC, cierre/apertura
- 8-2 = Control de carga del motor
- H1 a H4 = Caja de control de los calentadores
- 23-1 = Termostato de control de los calentadores H1,H4

Figura 1.11 Diagrama de operación eléctrica.

## 1.6 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Para garantizar el buen funcionamiento del interruptor a gas SF<sub>6</sub> y así evitar cortes de energía innecesarios en el sistema se recomienda un mantenimiento periódico el cual consiste en verificar el valor de presión del gas dentro del interruptor ya que si esta baja a un valor menor que el especificado en el manual del fabricante el interruptor se abre automáticamente.
- A pesar de que existen muchos modelos de interruptores de potencia a gas SF<sub>6</sub>, su principio de operación es el mismo.
- La tendencia en los nuevos modelos de interruptores es a reducir el volumen de gas SF<sub>6</sub>.
- Para un estudio más profundo del funcionamiento y de los mecanismos de los interruptores de potencia se recomienda consultar los manuales correspondientes a cada interruptor.
- Para un mejor diagnóstico y análisis de los interruptores de potencia se recomienda a CEL adquirir los transductores y accesorios necesarios para hacer pruebas de penetración, velocidades de cierre-apertura, etc.

## 1.7 CONCLUSIONES

- El mecanismo y medio de extinción del arco de los interruptores de potencia a gas SF6 es mucho más eficiente que el de los interruptores de aceite, esto se pudo constatar en el mantenimiento interno hecho a un interruptor a gas SF6.
- La inhalación de la descomposición de los gases resultados del producto térmico o de la descomposición eléctrica del hexafloruro de azufre es dañina para el personal que interactúa con este.
- El uso de interruptores de potencia a gas SF6 en comparación con los de aceite reduce el riesgo de daños al sistema, ya que su tiempo de mantenimiento es menor.
- El recurso humano necesario para la instalación y mantenimiento de los interruptores de potencia a gas SF6 es considerablemente menor al utilizado con los interruptores de aceite.
- La rápida y efectiva extinción del arco es una de las características deseables de los interruptores y para lograrlo se busca aumentar artificialmente la separación entre los contactos así como también disminuir la temperatura generada al momento de darse el arco. Es por esto que se recomienda el uso de interruptores de potencia a gas SF6.

## 1.8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

R. Castillo Martínez, Antonio Enrique; Chavez, Sandra Ingrid; Henriquez Castro, Carlos Edgardo y Velásquez Velásquez Carlos Roberto. "Evaluación de Subestaciones de Potencia y Distribución con Estructuras de Bajo Perfil". Tesis para optar al grado de Ingeniero Electricista. Biblioteca UCA. Julio de 1987.

R. Brizuela Urquilla, Rubén Salvador. "Estudio de los Sobrevoltajes". Tesis para optar al grado de Ingeniero Electricista. Biblioteca UCA. Enero de 1979.

R. Installation/Maintenance Instructions PM72PM3112B ABB.

R. Diccionario Enciclopédico de Términos Técnicos. Primera Ed. 1980. L. Collazo, Javier.

## CAPITULO II

### MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES

#### INTRODUCCIÓN

Mantenimiento correctivo significa adoptar medidas luego de ocurrir un fallo en el interruptor, éste tipo de mantenimiento no brinda seguridad al usuario en el suministro de energía eléctrica.

Los beneficios a corto plazo por el ahorro de mantenimiento se ve rápidamente neutralizado por los costos causados por la falla.

Para garantizar condiciones óptimas de funcionamiento el mantenimiento preventivo es la estrategia más conveniente y la más utilizada en la actualidad. El mantenimiento involucra: **Inspección periódica, Comprobación, Revisión, Análisis estadístico, Experiencia acumulada.**

Es importante hacer notar que la necesidad de comprobación del interruptor no depende tanto del tiempo que ha estado operando como de los esfuerzos a los que el interruptor es sometido.

Normalmente habrá que retirar el interruptor del servicio para efectuar el mantenimiento, muchas veces para garantizar que las pruebas hechas a los interruptores arrojen resultados precisos y confiables será necesario auxiliarse de equipo especializado adicional, tal es el caso del analizador de interruptores el cual nos proporciona mediciones de: *tiempos de cierre y apertura del interruptor y simultaneidad de los contactos*, la recicladora de gas SF<sub>6</sub> cuya función principal es deshidratar y purificar el hexafluoruro de azufre contaminado y la analizadora de humedad la cual a través de mediciones nos proporciona el grado de humedad del gas SF<sub>6</sub>.

En tal sentido será de nuestro interés en este capítulo estudiar el funcionamiento y operación de estos equipos.

## 2.1 ANALIZADOR DE INTERRUPTORES TM 1600 / MA61

### 2.1.1 Descripción

El analizador de interruptores que estudiaremos está formado por: un timer TM1600 y un módulo compacto llamado analizador de desplazamientos MA 61, éstos dos elementos en conjunto forman un instrumento capaz de medir cierres y aperturas de los contactos principales, contactos con resistencias y contactos con tensión. Puede seleccionarse manualmente distintas secuencias de impulsos de control. El tiempo de retraso entre impulsos se ajusta mediante botones de ajuste incorporados.

Una impresora incorporada permite observar los resultados tan pronto como se han efectuado las medidas. El TM1600 es capaz de manejar simultáneamente hasta 24 entradas para medir tiempos.

El analizador de desplazamiento MA61 es capaz de manejar 6 entradas. Puede calcular y medir los recorridos y las velocidades de apertura, apertura y cierre de contactos, y la intensidad de las bobinas de disparo, además de poder medir resistencias, tensiones y presiones.

Los resultados obtenidos por el MA61 pueden imprimirse en forma gráfica y tabular.

También es posible ampliar secciones de curvas para analizarlas con mayor precisión, también el MA61 es capaz de almacenar en memoria hasta 10 mediciones para su posterior análisis.

Una descripción de las partes principales del TM1600 y del MA61 se muestran a continuación.

#### Controles, indicadores y terminales del TM1600

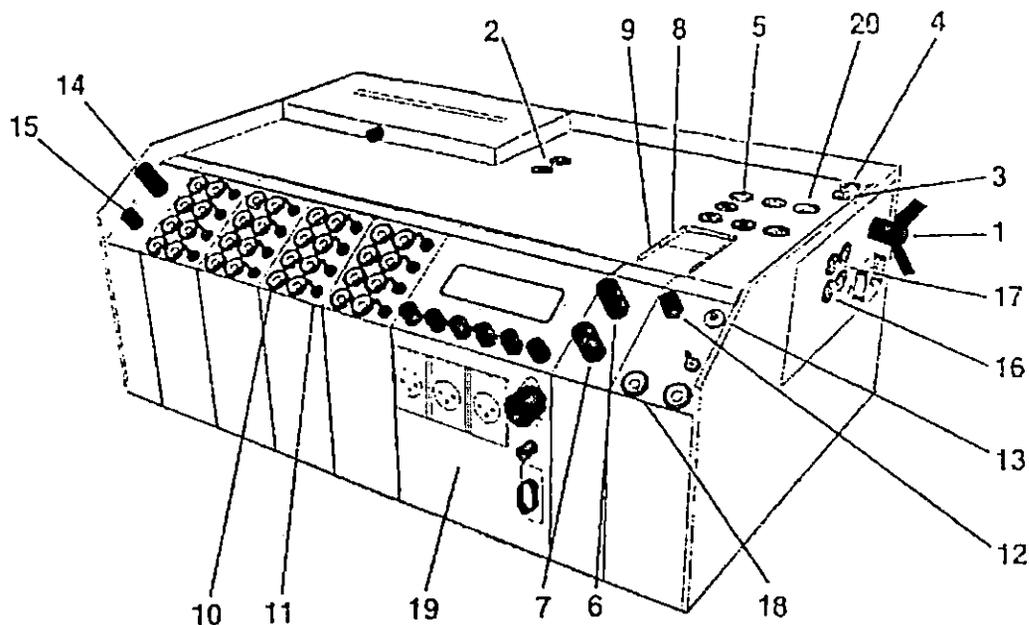


Figura 2.1 Controles, indicadores y terminales del TM1600

1. Conexión de tierra (GROUND).
2. BLIND TERMINALS (Terminales ocultos). Terminales de seguridad para alambres de control del interruptor. No están conectados al circuito interno.
3. Suministro eléctrico ON/OFF.
4. Lámpara indicadora de encendido. Intermitente = Baja batería.
5. Salidas de control del interruptor. Dos contactos separados.
6. Operación de secuencia del interruptor ( SEQUENCE ). Selector: C = Cerrado, O = Abierto, 'L' = Retardo.
7. Inicio de operación del interruptor e inicio de grabación (START). Almacena solamente si la lámpara (ready, numeral 13) está encendida.
8. CLOSE DELAY (Retardo de cierre). fija el retardo del pulso de cierre. El retardo del pulso es medido desde el inicio del pulso previo. Resolución de 10 ms.
9. OPEN DELAY (Retardo de apertura). Fija el retardo del disparo del pulso. El retardo del pulso es medido desde el inicio del pulso previo. Resolución de 10 ms.
10. Terminales de entradas de canal temporizado.
11. Interruptor de modo para canal temporizado. Modo de contacto: 0-25 ohms. Modo de contacto resistivo: 0-3 Kohms. Modo de voltaje: 12-250 V no polarizado.
12. READY (Preparado o listo). Botón para mediciones. Habilita el canal temporizado. Primer toque: prepara para grabación normal. Habilita el canal temporizado a través de 90 s. Segundo toque: provee un monitoreo por largo tiempo (opcional). Tercer toque: deshabilita grabación.
13. Lámpara de READY (listo). Iluminación constante: listo para grabación normal. Intermitente lenta: listo para monitoreo de largo tiempo (opcional). Intermitente rápido: medición en proceso.
14. PRINT MODE (modo de impresión). Interruptor que selecciona el formato del reporte (1-8 modos de impresión).
15. Botón START/STOP del impresor y PAPER FEED (alimentación de papel). Alimenta papel si se presiona más de 1seg.
16. Entrada REMOTE STAR (encendido remoto). Un corto circuito externo provee el mismo resultado que el giro del switch de inicio (numeral 7).
17. TRIG OUT (salida de disparo). Salida para inicio sincronizado de otros equipos. Cortocircuitando las terminales en el instante del disparo. Usados cuando varios TM1600 son usados en conjunto.
18. TRIG (disparo). Entrada para inicio externo de grabación. inicia la grabación si la lámpara READY está encendida. Datos de entrada: 0-250 ohms polarizado ó 12-250 V no polarizado.
19. Analizador de movimiento MA-61.
20. FUSES (fusibles) para salidas de control del interruptor.

### Controles, indicadores y terminales del MA61

1. Tecla de función Shift.
2. Tecla para subir en el árbol de menú.
3. Teclas para moverse dentro de un menú.
4. Cambia un valor o un parámetro.
5. Tecla para bajar en el árbol del menú.

6. Conexión para transductores.
7. Conector para teclado tipo PC/XT.
8. Conector para el suministro del impresor externo.
9. Conector para el impresor externo.

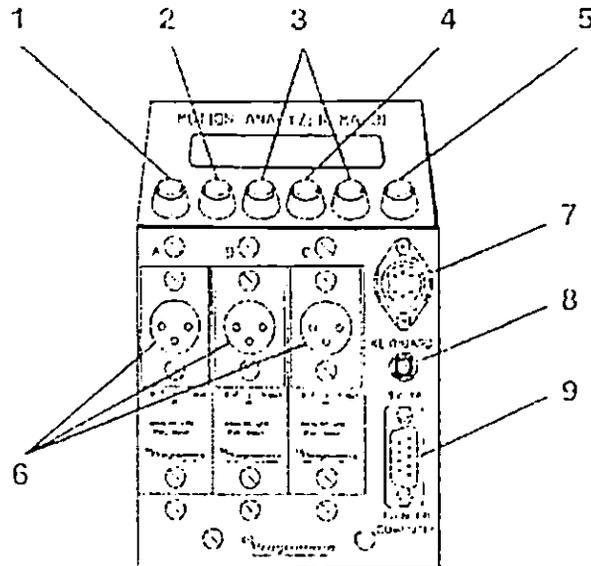


Figura 2.2 Controles, indicadores y terminales del MA61

### 2.1.2 Especificaciones para el TM 1600

#### *MEDIDA DE TIEMPOS*

**Escala:** 0 - 6.5 seg

**Resolución:** 0.1 ms

**Precisión:**  $\pm 0.1\%$  del valor registrado  $\pm 0.1$  ms

**Inicio de la medida de tiempos:** Se puede dar automáticamente cuando se activa el interruptor desde el TM1600, cuando un evento externo activa la entrada de disparo o hay un cambio en una de las entradas de tiempos (opcional).

**Entrada de disparo:** Entrada independiente con su propia fuente de tensión. Las medidas comienzan cuando se detecta una tensión o cuando se cierran los contactos. Las señales que se utilizan en ésta entrada son idénticas a las señales de la entrada de tiempos en los modos de "medidas de contactos" o "detección de tensión".

**Salida de disparo:** Cierra hasta 1 Amperio (máximo).

#### *MANIOBRA DEL INTERRUPTOR.*

**Funciones de contacto:** Dos funciones de contacto independientes.

**Propiedades de los contactos:** Cierre sin rebotes, tiempo de cierre menor a 0.1 ms

**Capacidad de cierre/apertura:** 25 A, 250 V (CA o CC) en cada función de contacto

**Comienzo de la maniobra del interruptor:** Se puede realizar localmente mediante control giratorio o remotamente mediante el cierre de los contactos en la entrada de puesta en funcionamiento optoaislada.

**Diferencia de tiempo entre el impulso de control y el comienzo de la medida de tiempos:** Menor que 0.1 ms

**Retraso del impulso:** Ajustable en incrementos de 10 ms

#### *FUENTE DE ALIMENTACION*

**Tensiones de red:** 95 - 265 V CA o 100 - 375 V CC, con ajuste automático

**Funcionamiento con baterías:** Batería interna con cargado automático

**Tiempo de carga:** 10 horas para carga completa.

**Duración de carga:** 1 hora utilizando el analizador normalmente.

#### **2.1.3 Especificaciones para el MA61**

**Número de entradas:** 1 - 6

**Escalas de medida:** Trasdutor: 0.1 - 10 KW, tensión -4 a +4 V

**Resolución de la medida:** 0.03%

**Precisión básica:** 0.1%

**Errores dinámicos:** Desplazamiento 1%, velocidad 3%

**Precisión de la base de tiempos:** 0.02%

**Duración de la medida:** 50, 100, 200, 400 o 1000 ms, programable por el usuario

**Frecuencia de la medida:** 1 - 20 kHz

**Temperatura de operación:** -10 a +50 °C .

## 2.1.4 Diagrama de bloques del sistema TM1600/MA61

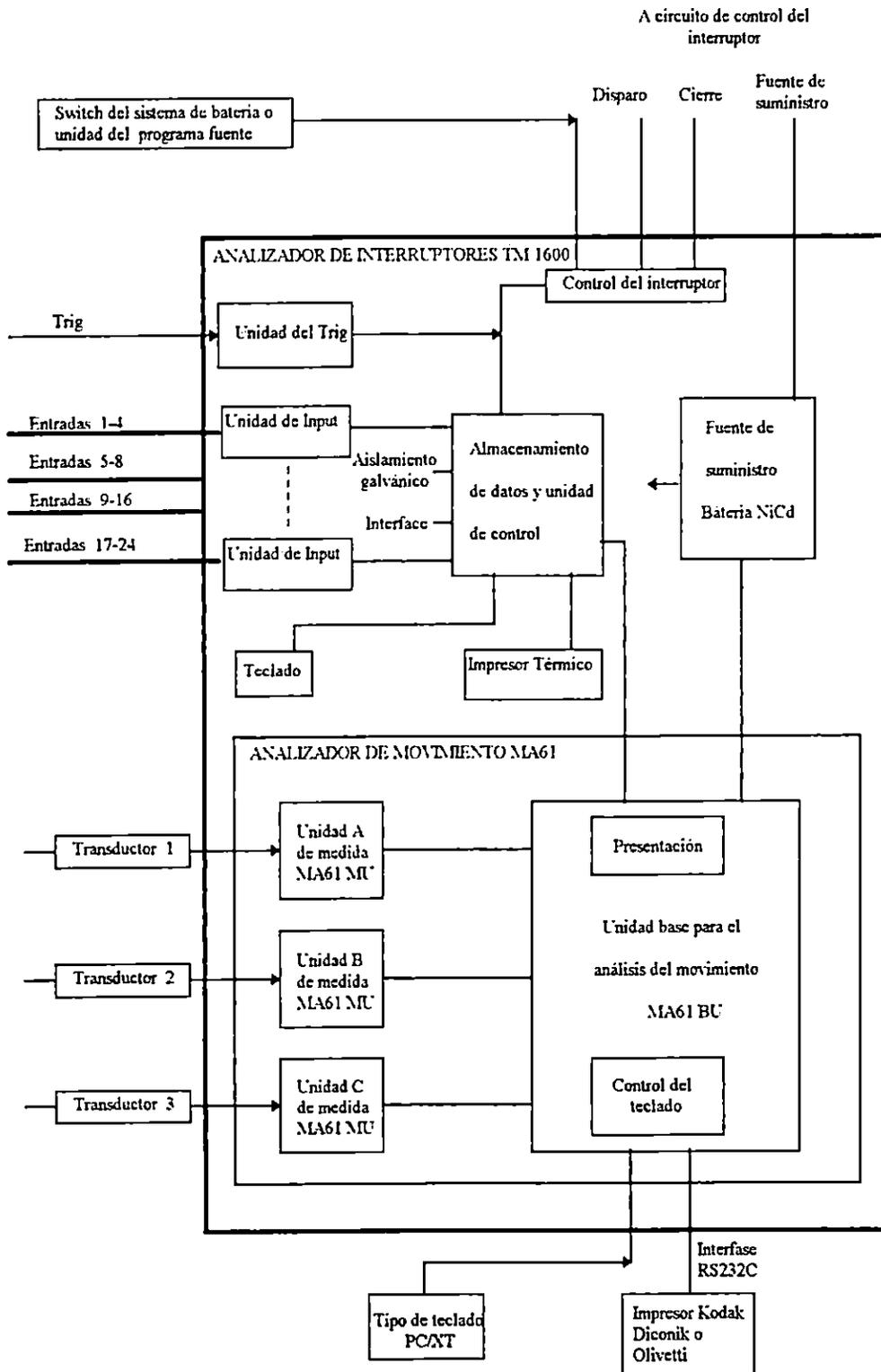


Figura 2.3 Diagrama interno en bloques del Sistema

### 2.1.4.1 Operación

El TMI600/MA61 es básicamente un Registrador Transitorio.

Antes de un evento de disparo (externo u operación iniciada) los datos muestreados desde las entradas provistas por los transductores son almacenados en memorias electrónicas en la unidad de medición MA61 durante un tiempo de medición prefijado.

Al finalizar una sesión de medición, los datos de la unidad de medición son almacenados juntos con datos de tiempos desde el TM1600 en la memoria de trabajo de la unidad base del MA61.

Para cada nueva medida los datos provenientes del reloj del sistema son almacenados juntos con los datos medidos, junto con un número de sesiones incrementadas automáticamente.

Los datos medidos pueden ser recuperados un número ilimitado de veces, después de la medición para ser presentados en varios formatos.

En la presentación, datos y número de sesiones son también impresos.

Antes de la presentación en la pantalla ó salida de impresión, los datos medidos originales son manipulados para simplificar la interpretación.

El sistema completo es alimentado por una fuente recargable incorporada en el TMI600, con amplio rango de voltaje de entrada.

Un suministro de energía separado es localizado en todas las unidades de entrada de medición provistos de aislante galvánico entre entradas.

### 2.1.4.2 Instrucciones preliminares

#### Conexión de datos y cables alimentadores del impresor externo

El impresor es encendido por la fuente empotrada en el TM1600/MA61. Asegúrese que el suministro eléctrico y los cables de datos están correctamente conectados antes de usarlos.

El impresor externo del que se habla podría ser el Kodak Diconix o el Olivetti JP50.

La colocación de los cables deben tener la siguiente conexión:

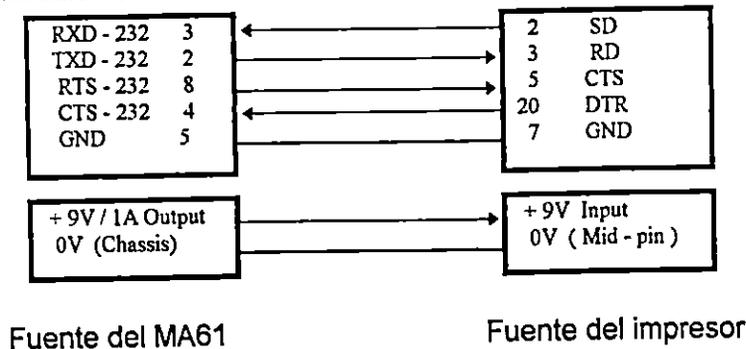


Figura 2.4 Conexión entre el impresor y el MA61

## 2.1.5 Preparativos para la operación

### Preparando el sistema para el análisis del interruptor

1. Verifique la conexión a tierra en el interruptor.
2. Asegúrese que el interruptor esté cerrado. Esto provee un aterrizaje en ambos lados del interruptor.
3. Conecte a tierra el TM1600/MA61.
4. Conecte el transductor a la varilla del interruptor o al mecanismo de operación.
5. Conecte los polos del interruptor y las entradas del TM1600/MA61.

Polo A → TM1600 - 1  
Polo B → TM1600 - 2  
Polo C → TM1600 - 3

6. Conecte los cables del transductor a las entradas del MA61, el polo del transductor "A" a la entrada A, polo "B" a la entrada B, etc.  
El arreglo anterior es para propósitos de evaluación. La profundidad de penetración en el canal "A" es calculada usando el tiempo de cierre de los contactos del canal 1 del TM1600. Esto se aplica también al par de canales B/2 y C/3.
7. Conecte el TM1600/MA61 a la fuente de energía.
8. Conecte el impresor y teclado.
  - El impresor debe estar al lado izquierdo en la maleta del TM1600/MA61.
  - El teclado es almacenado en la tapadera de la caja del impresor. Sáquelo y colóquelo en el borde de la caja. Conecte el cable al MA61.

## 2.1.6 Preparación de transductores

### PRECAUCION:

- Asegúrese que el nivel de voltaje entre las terminales de una entrada nunca exceda 5VDC.
- Asegúrese que el nivel de voltaje entre cualquiera de las dos entradas o entre una entrada y el chasis nunca exceda 400V.

### Transductor de posición resistiva (potenciómetro) .

El canal de entrada es fijado al modo BR (interruptor).

- La terminal de salida "out" es conectada a uno de los extremos del transductor de posición.
- La terminal de entrada "in" es conectada en el intermedio del transductor de posición.
- La terminal "O" es conectada al otro extremo del transductor de posición.
- El cable protegido es conectado al chasis del TM 1600/MA61 directo a la cubierta del conector de entrada. Este no puede ser conectado a tierra en el lado del transductor de posición.

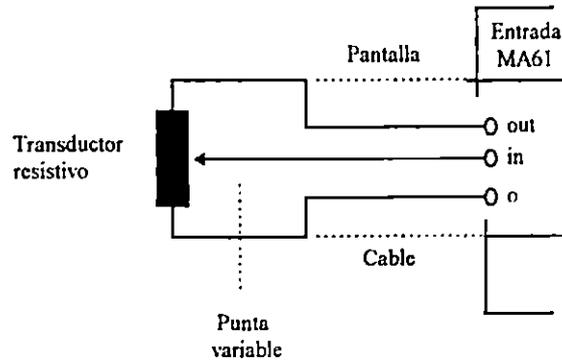


Figura 2.5 Conexión de un transductor de posición resistiva

### Transductor de posición resistiva con muy baja resistencia

Los canales de entrada son colocados en el modo BR (interruptor). El MA61 normalmente mide posición (movimiento) con un potenciómetro en el rango de  $100 \Omega - 10 K\Omega$ .

El límite bajo se coloca porque el MA61 alimenta al transductor desde un limitador de corriente incorporado en la fuente de alimentación.

El voltaje interno es usado parcialmente para alimentar el transductor y enviar un voltaje de referencia al convertidor análogo - digital.

La limitante de suministro de corriente en la fuente interna puede ser superada usando una fuente externa para alimentar el transductor con 2-3V.

Por ejemplo, la fuente puede ser dos baterías en serie. Ellas son conectadas a través del potenciómetro sin desconectar el nodo de referencia "out".

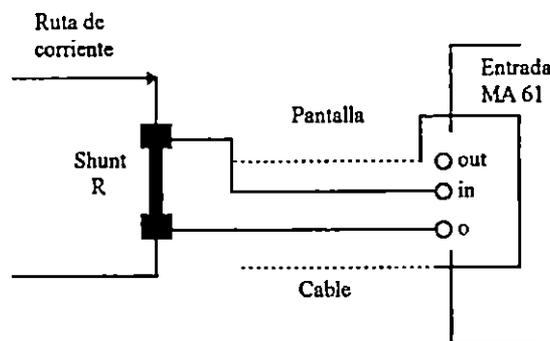


Figura 2.6 Conexión de un transductor de posición de baja resistencia.

Cuando se excluye el suministro de potencia extra, no hay diferencia en la trayectoria de baja resistencia "R" usado en el transductor de posición resistiva.

## Derivador de corriente (shunt)

Elegir un derivador de corriente (resistor) con capacidad de corriente apropiada. Una resistencia baja ofrece una caída de voltaje baja (leve calentamiento en operaciones continuas). La resistencia alta proporciona una resolución alta durante la medición; esto se debe a que el voltaje medido es alto. Conecte correctamente la polaridad del voltaje, alambrear la terminal de entrada "in" y la terminal "O".

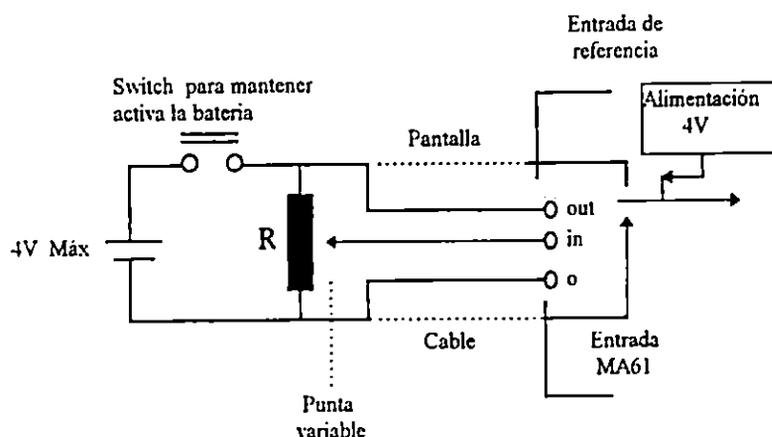


Figura 2.7: Conexión de un transductor derivador de corriente

### Ejemplo de la selección de la corriente derivada y ajustes de entrada:

Para varios interruptores nunca exceder de 25 Amp. la bobina de disparo de corriente. una selección apropiada del derivador podría ser  $10\text{ m}\Omega$  dando un voltaje máximo de caída de 0.25 Volt.

Para 2 Amp. el voltaje es 0.02 Volt., dando un uso del 1% del rango de voltaje de la entrada más baja, la cual provee una resolución satisfactoria del valor medido.

El ajuste de las entradas son seleccionadas en los menús 2.1.8.b.12 y 2.1.8.b.14.

La selección del canal y la opción NB (no interruptor) se hace en el menú 2.1.8.b.12.

Presionando la tecla enter continúe en el menú 2.1.8.b.14

- Fije la cantidad a la entrada en unidades de amperios.
- Seleccione el rango de entrada, que corresponde a la resistencia derivada multiplicada por la corriente máxima y dependiendo lo que se va a medir ya sea AC o DC. En el caso de AC ó una polaridad de DC desconocida, el rango de entrada puede ser fijado a :  $-4/+4\text{ Volt.}$  o  $-1/+1\text{ Volt.}$ ; en este ejemplo  $-1/+1$  puede ser apropiado. En el caso de DC y polaridad conocida la resolución puede ser el doble por el ajuste del rango de entrada a  $0-1\text{ Volt.}$
- Poner el offset a cero (0).
- Poner la escala de entrada =  $+1/R$  o  $-1/R$  ( $R$ = resistencia derivada ). el signo negativo puede ser usado para polaridad inversa.

El factor de la escala de entrada en este ejemplo es fijado a  $100.000\text{ A/V.}$

## Transductor 4-20 mA (Para presión u otra cantidad)

Conecte el resistor a través de la terminal de entrada "in" y "o".  
Conecte el transductor a través de la resistencia, la resistencia puede, por ejemplo, ser localizada en el interior del conector de entrada.

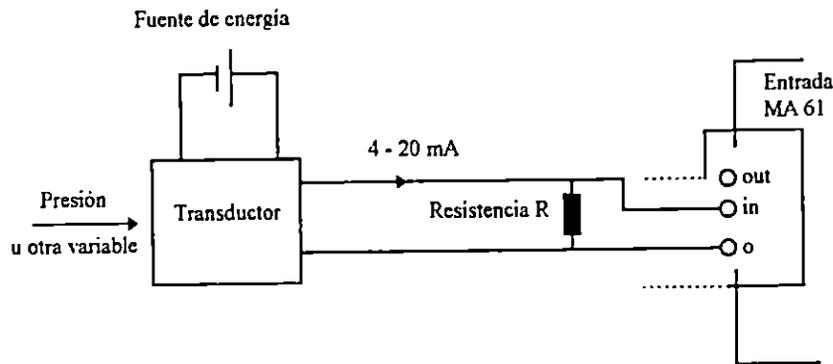


Figura 2.8: Conexión de un transductor de 4-20 mA.

### Ejemplo de selección de la resistencia y ajuste de entrada:

- Seleccione una resistencia en el rango de 10-200 Ohm convertir corriente a voltaje, suponer que nosotros seleccionamos 100 Ohm.
- Seleccione el canal en el menú 2.1.8.b.12 y fije al modo NB (no interruptor).
- Presione la tecla enter para entrar al menú 2.1.8.b.14 .
- Seleccione la unidad de medición deseada (mm, mV, A, Ohm o Kp).
- Seleccione el rango de entrada 0/+4 Volt; si la resistencia excede 50 Ohm, de otra manera seleccione el rango de entrada 0/+1 Volt; nosotros seleccionaremos 0/+4 Amp.
- Fije a cero el offset y el voltaje, en 4 mA  $R \cdot 4 \text{ mV} = 400 \text{ mV}$ .
- Poner la escala de entrada a :

$$\frac{P(20 \text{ mA}) - P(4 \text{ mA}) \text{ [Kp]}}{V(20 \text{ mA}) - V(4 \text{ mA}) \text{ [mV]}} = \frac{\text{Rango de entrada}}{1.6 \text{ (en este ejemplo)}}$$

## 2.1.7 Instrucciones de operación

### Medidas de seguridad

Asegúrese que el sistema de prueba este conectado a la protección de tierra, antes de hacer cualquier conexión a voltaje vivo o activar cualquier interruptor.

Cuando coloque el interruptor en alto voltaje monte un interruptor de maniobra, primero verifique la conexión de protección de tierra.

Asegúrese que el interruptor esta cerrado y suministrado de tierra en ambos lados de los contactos para evitar corrientes inducidas, pasar la prueba de conexión a los cables de los contactos del interruptor.

### Chequeo

- Verifique las conexiones a tierra del interruptor .
- Asegúrese que el interruptor este cerrado.
- Conecte a tierra el TM1600/MA61.
- Unir el transductor al interruptor y conectarlo al MA61 (polo A:MA61/A , polo B: MA61/B , etc.).
- Conecte las entradas del TM1600 a los polos del interruptor ( polo A: TM1600/1 , polo B:TM1600/2 , etc.).
- Conecte la fuente de alimentación, impresor y teclado.

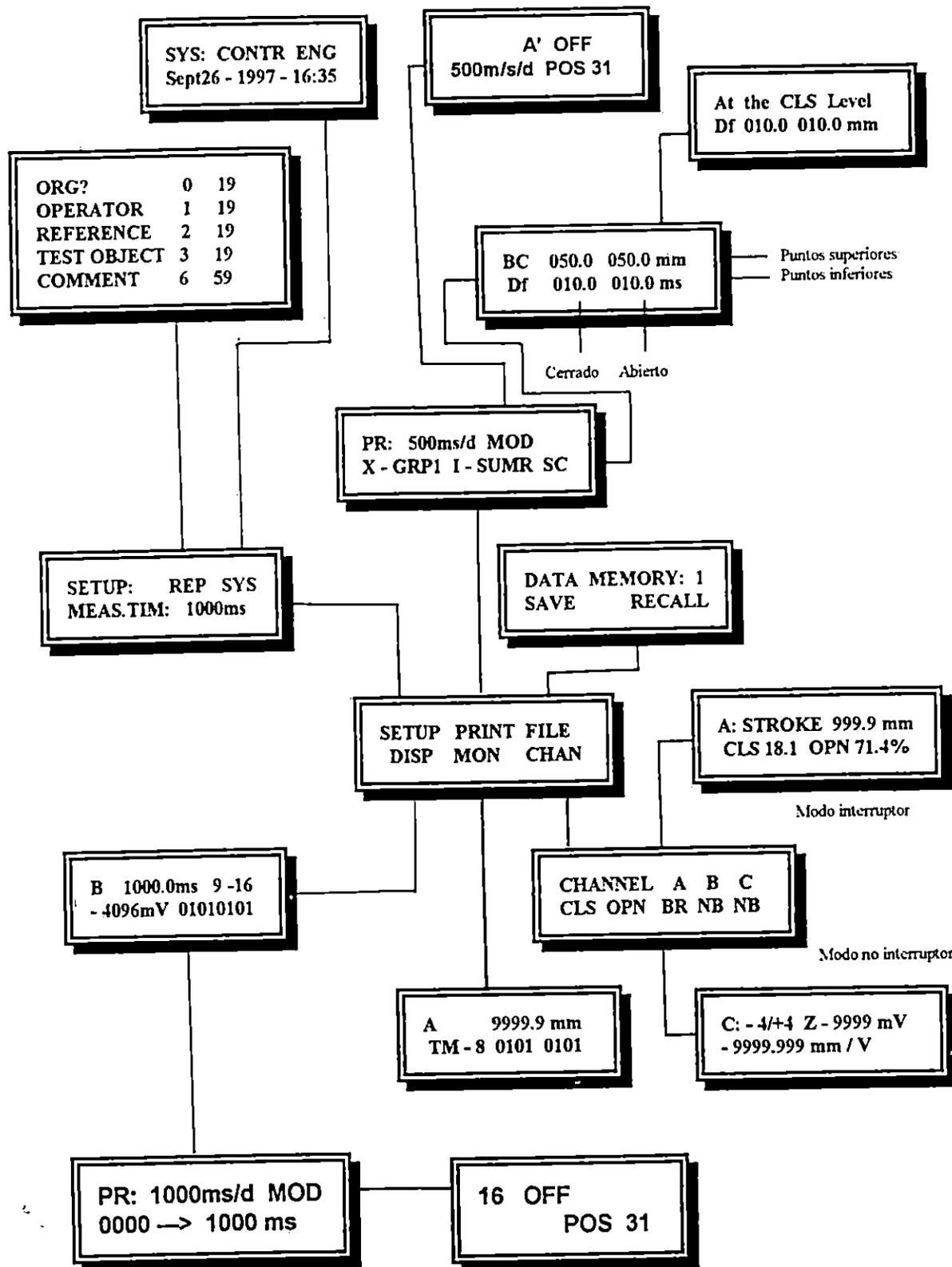
## 2.1.8 Controles

### a. Editando con las teclas del panel frontal

Todas las teclas tienen la función de autorrepetición. La razón de repetición se incrementa mientras la tecla es presionada.

- La tecla shift es usada para seleccionar las funciones superiores mostradas en las teclas.
- Las teclas de flechas horizontales son usadas para el movimiento entre los campos diferentes y dentro de campos numéricos o dentro de cada campo de las formas de reporte.
- La tecla enter es usada para moverse hacia abajo en el árbol de menús o ejecutar un comando en la parte más baja de dicho árbol.
- La tecla ESC es usada para moverse hacia arriba en el árbol del menú.
- Las teclas de flechas verticales son usadas para seleccionar una nueva colocación o para cambiar valores en el campo numérico. Ellas son usadas también para seleccionar un nuevo caracter (cuando no use el teclado externo).
- Las teclas de flechas dobles son usadas para movimiento rápido (6 ó 7 posiciones) en el campo de la forma de reporte.

b. Arbol de Menúes.



### 1) Menú Principal.

```
SETUP PRINT FILE
DISP MON CHAN
```

Este menú aparece al iniciar el sistema. Las teclas del panel frontal son utilizadas para desplazarse dentro del menú y la tecla enter sirve para entrar a otros menús.

### 2) Menú del SETUP.

```
SETUP: PR REP SYS
MEANS.TIM: 400 ms
```

```
SETUP: PR REP SYS
MEANS.TIM: 24 cy
```

En la parte de abajo de esta pantalla puede definirse la base de tiempo en ms o en Hz, pudiéndose optar por 50, 100, 200, 400 y 1000ms ó por 3, 6, 12, 24 y 60 ciclos. La selección es hecha usando las teclas de flechas verticales.

### 3) Edición de información general de reporte.

```
ORG ? 0 19
```

```
OPERATOR? 1 19
```

```
REFERENCE? 2 19
```

```
TEST OBJECT? 0 19
```

```
COMMENT 9 19
```

El texto introducido en los campos mostrados es impreso en cada reporte. El texto máximo en las 6 primeras pantallas es de 20 caracteres y el de las restantes 4 es de 60 caracteres. El número de renglón en uso y el número de caracteres se muestra en la esquina superior derecha.

El texto en cada uno de los campos puede ser introducido desde un teclado para PC/XT o por medio del panel frontal del MA61 con las flechas verticales.

### 4) Setup del Sistema (SYS).

```
SYS: CONTR ENG
Sept19 - 1997 - 16:35
```

El campo CONTR es utilizado para modificar el contraste de la pantalla y este puede ser variado en 16 pasos.

El campo superior de la derecha sirve para modificar el idioma en que se presenta los menús y mensajes del sistema.

#### 5) Menú de impresor.



La escala de tiempo del gráfico puede ser seleccionada con uno de estos valores 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 ms/div. Esta selección puede hacerse con las flechas verticales del panel frontal del MA61.

El campo MOD es usado para entrar al menú donde se definen los parámetros para cada canal.

Los campos I-SUM1 y X-GRAF1 son usados para seleccionar el formato de impresión cuando se está utilizando el formato 7 y 8 con el impresor del TM1600/MA61.

A cada posición de la perilla le corresponde la selección: -GR21, -GR22, -GR23, GRP1 y -SUM1

X : Impresor externo (posición 8)

I : Impresor interno (posición 7)

La descripción de las diferentes salidas de impresión se hará más adelante.

Con el campo SC se entra al menú donde son definidos los parámetros de cálculo de velocidad promedio (sección 2.1.8.b.7)

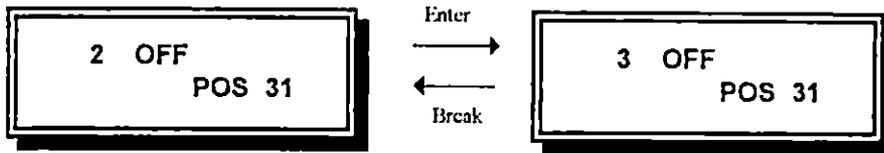
#### 6) Modificando el menú de impresor.



En esta parte se definen los parámetros del gráfico de salida. Los campos son seleccionados usando las flechas horizontales y los parámetros pueden ser cambiados con las flechas verticales (excepto el canal A').

Campo superior izquierdo:

En este campo se selecciona el canal, pudiendo ser estos A, B, C y 1 - 16. Los datos de las medidas desde la entrada de los canales que son puestas en el modo interruptor (BR) también pueden ser diferenciadas con A', B', C' para mostrar la velocidad. El número de canales es incrementado con la tecla enter y decrementado con las teclas Shift+Enter.



Campo superior derecho:

Cada canal puede ser apagado o encendido (ON/OFF) para la salida del impresor.

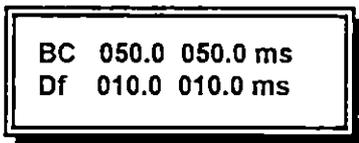
Campo inferior izquierdo.

En este campo se define el factor de escala por el MA61 (con la unidad de entrada que fue seleccionada en el menú CHAN). No es válido para las entradas 1 - 8 del TM1600.

Campo inferior derecho.

Posición de nivel cero en la salida de impresión. Elija en el rango de 1 a 31 medias divisiones levantándolo desde el eje del tiempo. Para curvas de interruptores (entrada en modo BR) el nivel cero es igual a la posición del transductor medida con el comando OPN en el menú de Chanel.

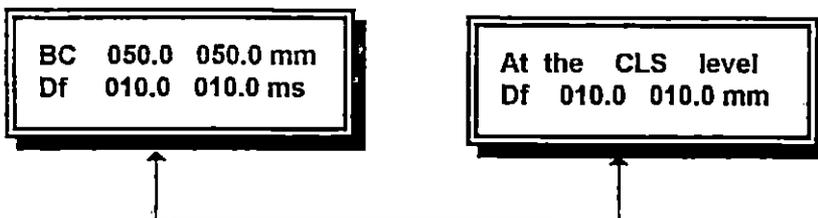
### 7) Definiendo el cálculo de velocidad.



En este menú los puntos en la curva son fijados, se define cómo calcular la velocidad promedio. La selección de puntos también se presentan en la impresión. Los puntos son puestos individualmente para cerrar y abrir el interruptor.

**NOTA:** Los parámetros definidos anteriormente son automáticamente actualizados para el resto de canales.

Los puntos de arriba son puestos a cierto número de milímetros abajo de la posición cerrado del estado estable del interruptor. Estos pueden ser puestos también automáticamente en el punto de cerrado. El modo automático es seleccionado o desactivado en el campo de la derecha de la pantalla.



Los puntos Df son una diferencia de los puntos BC. Estas diferencias son definidas en mm o en plg abajo de cada punto de arriba o definida en milisegundos adelante (un cierre) y después (una apertura) de cada punto superior.

**NOTA:** El cálculo de la velocidad necesita una operación de cierre del interruptor, un simple cierre o una simple operación. La operación de O-C y O-C-O podrían mostrar valores de velocidad 0.0 m/s.

#### 8) Menú de Archivo.



Cuando éste menú es accedido el cursor es posicionado en el campo de la parte derecha donde es posible seleccionar la memoria en la cual pueden grabarse datos o llamar datos de dicha memoria.

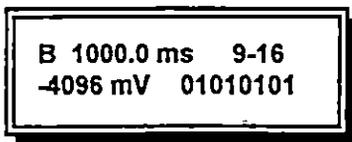
La ejecución del comando SAVE o RECALL causa el siguiente evento a ser almacenado o recuperado: datos medidos, el setup de impresión y entrada de datos.

Existe también la posibilidad de llamar datos desde la memoria número 0. Esto recupera la construcción de los datos de entrada y setup de impresión.

Los datos de la memoria de trabajo son almacenados en el número de memoria que se muestra en el campo superior derecho de la pantalla al presionar enter mientras esté seleccionado el campo SAVE.

Los datos son rellamados a la memoria de trabajo, desde el número de memoria señalado, presionando enter mientras esté seleccionado el campo RECALL.

#### 9) Menú Desplegar (Display).



En éste menú los datos medidos y almacenados desde la memoria de trabajo son desplegados.

**Campo superior izquierdo:**

Seleccionando algunos de los canales A, B, C, A', B', C' puede verse los datos en el campo de la esquina inferior izquierda.

**Campo superior intermedio:**

Selecciona el tiempo de retardo en el cual se irán presentando los datos.

**Campo superior derecho:**

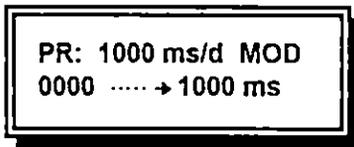
Selecciona los canales (del 1 al 8 ó del 9 al 16) a ser desplegado en el campo inferior.

Campo inferior derecho:

Muestra la condición de las entradas del TM1600, el tiempo se muestra en el campo central de arriba. Un uno "1" simboliza un canal cerrado. Es este campo los eventos grabados pueden ser saltados; entonces el dato de tiempo se modifica automáticamente.

Estando en este menú, si una impresión es iniciada con el switch de impresión en posición 7 u 8 un gráfico corto podría ser impreso. El gráfico comenzará 4 divisiones antes y terminará 4 divisiones después del tiempo definido en el setting de tiempo.

#### 10) Modificando el segundo menú de impresión.



PR: 1000 ms/d MOD  
0000 ..... -> 1000 ms

Este menú es accesado presionando enter en el menú DISPLAY sin importar la posición del cursor.

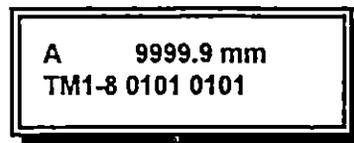
Estando en este menú si una impresión inicia con el switch de impresión en posición 7 u 8 el gráfico empezará en el tiempo definido en el campo inferior izquierdo y finalizará en el tiempo definido en el campo inferior derecho.



16 OFF  
POS 31

Este menú es bastante similar al menú 2.1.8.b.6, la única diferencia es que define el esquema para impresión mientras está en uso los menús de la sección 2.1.8.b.9 y 2.1.8.b.10.

#### 11) Menú MON (Monitor).



A 9999.9 mm  
TM1-8 0101 0101

En este menú, datos desde las entradas son desplegadas en tiempo real.

- En el campo superior izquierdo, el canal A, B o C es seleccionado con la tecla de la flecha vertical.
- En el campo superior derecho, el valor de la entrada del canal seleccionado A, B o C es desplegado. El valor es calculado de acuerdo a la entrada presente fijada.
- En el campo inferior izquierdo, los canales del 1 al 8 ó del 9 al 16 son seleccionados. Su estado es desplegado a la derecha. En modo de contacto, un "1" simboliza una entrada cerrada.

## 1 2) Menú de canal de entrada.



En este menú, los parámetros de entrada son fijados.

### - Los tres campos de la parte inferior derecha:

Determine si el canal A, B o C va a ser usado para la grabación del movimiento del interruptor o alguna otra cantidad.

BR significa modo de interruptor y es usado para grabar el movimiento del interruptor. En el modo de interruptor, dependiendo del stroke (puesto en menú 2.1.8.b.13), los comandos CLS y OPN podrán automáticamente poner los parámetros del canal de entrada que provee la grabación del movimiento del interruptor.

Esto también significa que una curva de velocidad puede ser ploteada en el diagrama de salida y que un número de parámetros medidos son calculados y presentados en la salida de impresión.

NB significa modo de no-interruptor y es usado para grabar la cantidad de interruptores que estén en movimiento. Los parámetros del canal de entrada pueden ser colocados manualmente acá. La curva de velocidad y parámetros calculados no son presentados.

**Nota: los canales no usados deben ser puestos en modo NB.**

Presionando la tecla enter selecciona uno de los 2 menús. El cual depende si BR ó NB esta seleccionado.

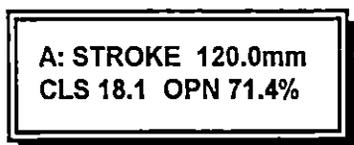
### - El campo inferior izquierdo CLS:

Presionando la tecla enter aquí, se inicia la grabación de la posición cerrada de los interruptores para cada canal de entrada.

### - El segundo campo inferior OPN:

Presionando la tecla enter aquí, se inicia la grabación de la posición abierta de los interruptores para cada canal de entrada.

## 13) Fijando el menú canal del interruptor



El stroke (contacto) junto con el registro del CLS y OPN son usados en el cálculo presentado en la salida de impresión.

Este menú es colocado desde el menú de canal de entrada cuando un canal es

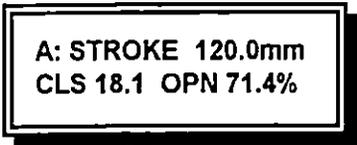
puesto en modo de interruptor (BR) y la tecla enter es presionada en el correspondiente campo del menú.

La posición de cierre y apertura de los transductores en uso son también mostrados por el canal en pantalla.

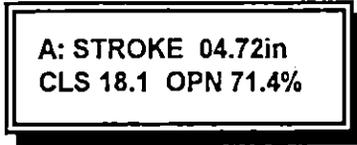
Cuando cambia el stroke en el canal A, los golpes en los otros canales, (B y C) son también cambiados.

Cuando cambia el stroke en el canal B o C, los golpes en los otros canales no son cambiados.

En la esquina superior derecha, la unidad para los canales en modo de interruptor se deben poner en mm o pulgadas.



A: STROKE 120.0mm  
CLS 18.1 OPN 71.4%



A: STROKE 04.72in  
CLS 18.1 OPN 71.4%

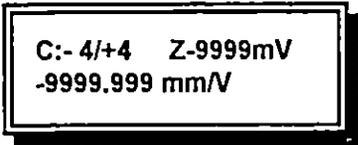
La selección es hecha respecto a la selección del canal antes de entrar a este menú. El ajuste es válido para todos los canales (A-C) que están en el modo BR.

Cuando los mm son seleccionados, las velocidades serán presentados en m/s.

Cuando pulgadas (in) son seleccionadas, la velocidad es presentada en pies/segundo (f/s).

Todos los otros menús y salidas de impresión usan la unidad seleccionada acá.

#### 14) Fijando menú de canal: no interruptor (NB) .



C:- 4/+4 Z-9999mV  
-9999.999 mm/V

Este menú es puesto desde menú de entrada de canal cuando un canal es fijado en el modo NB (no interruptor).

Aquí, todos los parámetros de entrada pueden ser fijados. (Para canales BR, el rango es automáticamente fijado de 0 a +4v).

- Campo superior izquierdo:

El rango de entrada puede ser seleccionado:

de 0 a 4V; - 4 a +4V; 0 a +1V o -1 a +1V.

- Campo Superior Derecho:

El nivel del voltaje de entrada correspondiente al nivel cero de la cantidad almacenada es fijada en el rango de -9999 mv a +9999 mv.

- Campo izquierdo inferior

El factor de escala de la entrada, por ejemplo el cambio de cantidad en la entrada dividido por el correspondiente cambio de voltaje, es puesto en el rango de -9999.999 a +9999-999 con unidades de entrada/ v.

- Campo inferior derecho

Las unidades de la cantidad de entrada son seleccionadas desde éste campo con los siguientes prefijos: mV, A, Kp, mm, m/s, in ó f/s.

Esta unidad seleccionada será utilizada en la salida de impresión, el menú DISP (desplegar) y en el menú MON (monitor).

c. Despliegue de mensajes

1) Mensajes de información



SA-00035 R01C  
V000 .....

Este texto es desplegado al inicializar el sistema. SA-00035 es el número de artículo del software, donde los últimos dígitos representan el grupo de idiomas .

En este caso el idioma seleccionado del grupo es Inglés, con otros idiomas disponibles en dicho grupo: Alemán, francés y Sueco.

Otros grupos de idiomas contienen los siguientes lenguajes:

SA-00031, Nórdicos: Inglés, Francés, Finlandés, sueco

SA-00032, N. América: Inglés, Francés, Español y Alemán.

SA-00033, Este de Europa: Inglés, Francés, Español, Alemán

SA-00034, Sur de Europa: Inglés, Alemán, Francés, Italiano

El R01C es la versión del programa de la computadora.

Para propósitos de diagnóstico cada uno de los puntos "..." es reemplazado por un símbolo de exclamación " !" para cada unidad de entrada presente en el MA61.



CALIBRATING  
INPUT UNITS

Este texto es desplegado cuando se prepara el sistema para una nueva grabación. Todas las entradas son automáticamente calibradas antes de una nueva medición.



READY-  
WAITING FOR TRIG

Listo - esperando para disparo. Este texto es desplegado cuando se espera el inicio de una nueva grabación.



MEASUREMENT IN  
PROGRESS

Medición en proceso. Este texto es desplegado cuando la grabación esta en proceso.

**PRINTING - BREAK  
OR STOP TO ABORT**

Interrupción de impresión o parar para abortar. Este texto es desplegado durante una salida de impresión. Interrumpe con la tecla de control shift + enter del MA61 o se detiene con la tecla start/stop del módulo de impresión del TM1600.

La absorción es retardada un número de segundos porque los datos son almacenados en un buffer del impresor.

## 2) Mensajes de error

**LOW MA61 MEMORY  
BATTERY**

Baja batería en memoria del MA61. Este texto es desplegado al iniciar el sistema si los datos almacenados han sido cambiados desde el último uso. Los datos medidos son entonces considerados como inválidos.

El ajuste de la entrada y salida de impresión son valores puestos por defecto, los cuales pueden ser rellamados desde la memoria 0 (cero) en el menú FILE.

**CLS - OPN DIFF  
TOO SMALL**

Este texto es desplegado cuando existe un canal de entrada del MA61 en modo BR (Interruptor) y no es inicializado apropiadamente.

La inicialización es hecha con los comandos CLS y OPN del menú CHAN.

**NO VALID DATA**

Datos no válidos. Este texto es desplegado como una prueba para introducirse al menú DISP (pantalla), si los datos medidos no han sido transmitidos apropiadamente desde las unidades de medición.

Esto podría darse como resultado de una falla en el suministro de energía durante la medición.

## 2.1.9 Preparativos para medir

### 2.1.9.1 Estableciendo el sistema

1. Coloque el sistema como es descrito en el numeral 5, "Preparativos para la operación".
2. Presione el interruptor del suministro de energía.
3. Seleccione el tiempo de medición con respecto a una secuencia completa de operaciones y el tiempo de operación del interruptor.

```
SETUP : REP SYS
MEAS.TIM: 1000ms
```

4. Si es necesario, elija la forma del reporte (con REP) para entrar los textos informativos.
5. Si es necesario seleccione el menú SYS (sistema) para colocar la fecha y la hora.

### 2.1.9.2 Fijando las entradas

1. Seleccione el menú CHAN menú 2.1.8.b.12.

```
CHANNEL: A B C
CLS OPN BR BR NB
```

- Coloque el canal de entrada no utilizado en modo NB.
- Grabe la posición cerrada (CLS).
- Abra el interruptor.
- Grabe la posición de apertura (OPN).

2. Seleccione el menú 8.2.13 para canales BR.

```
A:STROKE 999.9mm
CLS 18.1 OPN 71.4%
```

Revise los límites de uso del transductor: mín 15%, máx 85% para proveer márgenes de sobrecarrera del interruptor.

CLS-OPN diferencia mínima del 25% para estar dentro de la precisión especificada.

3. Fije stroke. Iniciar con canal A. Si el canal A,B, y C tienen valores idénticos para el campo Stroke, los contactos de los canales B y C necesitan ser colocados separadamente.
4. Seleccione el menú 2.1.8.b.14 para canales NB.

C: - 4/+4 Z - 9999mV  
- 9999.999 mm/V

Ponga el rango de entrada, el nivel cero, el factor de escala y las unidades de cuantificación de entrada.

Ver sección 2.1.6 referente a derivador de corriente y transductor 4-20 mA para ejemplo de fijación.

### 2.1.9.3 Haciendo mediciones

#### 1) Grabando

- a. Seleccione el control de secuencia para el interruptor en el TM1600. La secuencia C-O es recomendada para grabaciones normales. Habilitando el cálculo de ambas velocidades cierre y apertura.
- b. Ponga el retardo de interrupción, escoja el tiempo considerado de cierre de los interruptores.
- c. Habilite la medición con la tecla de función del TM1600 READY.
- d. Seleccione apropiadamente la posición del switch del impresor en el TM1600. El formato del reporte 1-4, 7 y 8 habilitarán automáticamente el inicio de la salida a impresión cuando la grabación es finalizada. Ver numeral 11 para una descripción de varios formatos para salida a impresión.
- e. Inicie la operación del interruptor y la medición con la tecla START o solamente inicie la medición con una señal de disparo externo.
- f. Espere hasta que la impresión sea finalizada. Verifique el resultado.

#### 2) Presentación del análisis del movimiento

Seleccione el switch de la salida a impresión en el TM1600 en la posición 7 u 8, esto proveerá un reporte completo del análisis del interruptor, incluyendo tabla de tiempo, parámetros calculados del interruptor y diagrama de prueba en el impresor interno o externo. La distribución del diagrama puede ser alterada con los siguientes pasos:

##### Preparación para la salida de impresión normal.

- a. Seleccione el número de ms/división.

PR: 50ms/d MOD  
X - GRP1 I - SUMR SC

- b. Seleccione el menú MOD (modificar).

- c. - Ponga cada canal que será presentado en la posición ON.
- Ponga los otros canales en OFF.
- Ponga el factor de escala de la salida a impresión.
- Fije la posición ( desplazamiento desde el eje x).

```

A' OFF
500 m/s/d   POS 31
  
```

d. Seleccione el menú SC (cálculo de velocidad).

En este menú, los puntos definidos para el cálculo de la velocidad promedio son fijados. Ponga la definición de puntos a un cálculo de velocidad acorde a su plan de prueba.

```

BC 050.0 050.0 mm
Df 010.0 010.0 ms
  
```

```

At the CLS Level
Df 010.0 010.0 mm
  
```

— Puntos superiores  
— Puntos inferiores

Close    Open

### Preparación para detalles de gráfico

Una parte de una curva puede ser impresa para estudiarla detalladamente:

- i). Entre al menú DISP.

```

B 1000.0 ms   9-16
-4096 mV     01010101
  
```

**Nota:** Después de entrar al menú DISP, la distribución para la salida a impresión gráfica ya no está definida en el menú PRINT; pero si en menú DISP y los submenús de este.

```

A' OFF
500 m/s/d   POS 31
  
```

La distribución esta definida en el menú anterior, son exactamente los mismos pasos como en el menú 2.1.8.b.6.

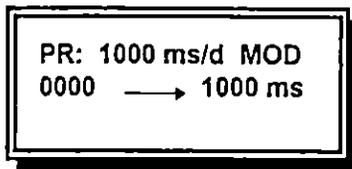
Los tiempos de inicio y paro del gráfico pueden ser definidos mediante uno de los dos procedimientos. El primero esta definido en el menú DISP, el segundo en el menú accesado desde el menú DISP.

- ii). Accesando el menú DISP.

Seleccione el tiempo que va a ser el punto medio del eje de tiempo.

Presionando la tecla de impresión START/STOP del TM1600 inicia una impresión del diagrama que comienza 4 divisiones antes y termina 4 divisiones después del tiempo previamente seleccionado. Si usted a seleccionado el punto medio del tiempo y factor de escala apropiado, cualquier parte deseada de una curva puede ser ampliada. Un ejemplo esta dado en el numeral 2.1.10.g.

iii) Accese el siguiente menú (menú DISP).



fije el tiempo deseado de inicio y parada.

### 2.1.10 Ejemplo de una aplicación típica.

El procedimiento típico para la sincronización y análisis de movimiento en un sistema trifásico, monofásico, de interruptores de potencia de alto voltaje es descrito aquí.

- Determinación de la sincronía en los polos A,B y C.
- El movimiento es registrado con un transductor de posición resistiva; uniéndolo a la varilla del interruptor en el polo A.

#### a. Preparación del sistema para el análisis del interruptor.

- 1- Verifique las conexiones a tierra en el interruptor.
- 2- Asegúrese que el interruptor está en la posición de cerrado.
- 3- Conecte a tierra el TM1600 /MA61.
- 4- Una el transductor ala varilla del interruptor en el polo A y el cable del transductor a la entrada "A" del MA61.
- 5- Conecte los alambres de los polos del interruptor y las entradas del TM1600.

La siguiente conexión provee una forma para el cálculo de penetración del contacto móvil en el contacto fijo, o bien para el cálculo de la velocidad de cierre y apertura en el caso de utilizar el punto de cierre como una referencia para el punto superior en la velocidad promedio:

polo A → TM1600-1 , polo B → TM1600 -2 , polo C → TM1600 -3

- 6- Conecte a la fuente de suministro el TM1600 /MA61, el impresor y el teclado.

#### b. Fijando los parámetros del sistema .

- 1- Presione el interruptor de encendido, espere la completa inicialización.
- 2- Seleccione el tiempo de medida que considere a la secuencia de operaciones y el tiempo de operación de interrupción en el menú del setup.
- 3- Si es necesario, seleccione SYS (tem) del menú y ponga el día y la hora.

SETUP : PR REP SYS  
MEAS.TIM: 200ms

c. Fijando los parámetros de entrada.

CHANNEL A B C  
CLS OPN BR NB NB

- Ponga el nuevo canal de entrada en modo NB.
- Anotar la posición de cerrado (CLS).
- Interruptor abierto.
- Anotar la posición de abierto (OPN).

A: STROKE 999.9mm  
CLS 18.1 OPN 71.4%

- Fije el Stroke para el canal A.
- Verifique los límites de uso del transductor. Valores razonables: mínimo 15%, máximo 85%.
- Diferencia entre CLS-OPN mínimo 25%.

d. Preparación de la impresión automática.

Es buena idea comenzar siempre con una impresión corta , para verificar conexiones y ajuste de parámetros. Un ejemplo se puede ver en la siguiente figura:

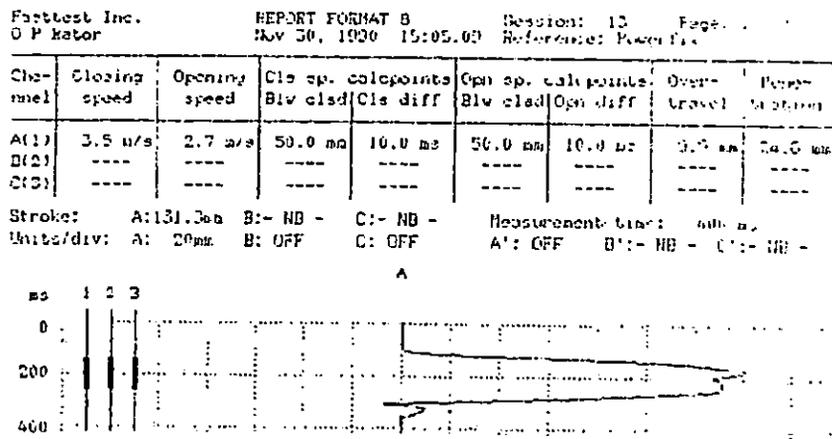


Figura 2.9 Impresión automática

La impresión debe iniciarse siguiendo este camino:

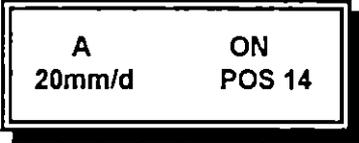
- 1- Seleccione del menú PR (impresión).
- 2- En el menú 2.1.8.b.5 seleccione el número de ms/div.

Es conveniente realizar mediciones cada 200ms y 100ms/div; para obtener una impresión corta de la gráfica para su inspección y ajuste.



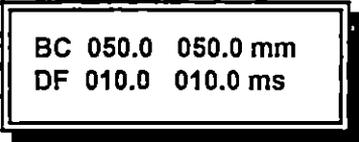
PR: 100ms/d MOD  
X-GRP 1 I-SUMR SC

- 3- Mueva el cursor al campo MOD.  
Presione Enter y seleccione el próximo menú.
- 4- Coloque el canal A en ON, y coloque todos los otros en apagado OFF.  
Este ajuste provee una lectura fácil en la curva y demuestra todo el movimiento, coloca la posición y el factor de escala.



A 20mm/d  
ON POS 14

- 5- Ponga el impresor del TM1600 en la posición 8 del interruptor selector para permitir la impresión automática de gráficas cuando la grabación es terminada.
- 6- Seleccione el menú SC (velocidad de cálculo)



BC 050.0 050.0 mm  
DF 010.0 010.0 ms

BC indica el punto superior (abajo de la posición de cierre), DF indica el punto más bajo (diferencia desde el punto superior) y mm o ms es el tipo de diferencia.  
Ponga el cálculo de velocidad definida en el punto según el plan de prueba.

#### e. Registro

- 1- Elija el control de secuencia del interruptor en el TM1600 .  
La secuencia I-O es recomendada para el registro normal.  
El retraso de interrupción es puesto tomando en consideración el tiempo de cierre del interruptor.
- 2- Con la tecla Ready del TM1600 se habilita el almacenamiento de la información.
- 3- El inicio de la grabación y operación se hace girando la perilla Start del TM1600 .
- 4- Espere la impresión y luego verifíquela.

f. Reporte final del impresor.

Si la gráfica-corta indica que todo está bien, cambie la escala en el eje de tiempo para obtener un gráfico a tamaño completo.

PR: 10ms/d MOD  
X-GRP 1 I-SUMR SC

Fasttest Inc.                      REPORT FORMAT D                      Session: 12                      File: 1111  
C.P. Baker                      Nov 30, 1996 14:03.03                      Reference: Power 111

Chan- nel	Closing speed	Opening speed	Cl. sp. calcpoints Div. cl. cl	Cl. sp. calcpoints Div. cl. cl	Opn. sp. calcpoints Div. opn. opn	Opn. sp. calcpoints Div. opn. opn	Scale factor	Unit multiplier
A(1)	3.0 u/s	2.0 u/s	50.0 us	10.0 us	10.0 us	10.0 us	1.00	1.00
B(2)	----	----	----	----	----	----	----	----
C(3)	----	----	----	----	----	----	----	----

Stroke: A: 131.0ms B: 1E C: 1R Measurement Unit: 1.00 us  
Units/div: A: 20us B: OFF C: OFF A': OFF B: 1E C: 1R

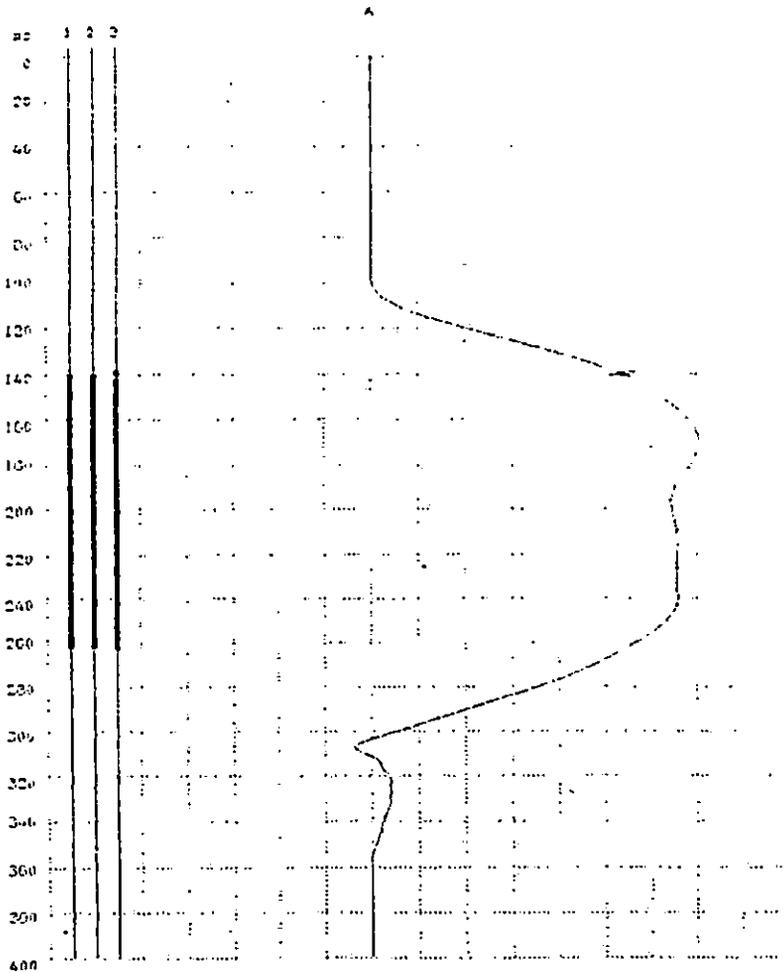


Figura 2.10 Impresión de gráfico completo

1- Seleccione el número de ms/div. en el menú 2.1.8.b.5.

Realice mediciones cada 200ms y 10ms/div. suministrando una gráfica a tamaño completo.

Presione la tecla Start/Stop del impresor del TM1600 . La figura anterior muestra una impresión de gráfico completo:

**g. Detalle de la impresión.**

Asumiremos que nosotros queremos el estudio del cierre del interruptor considerando rebotes y sobrecarrera. Un ejemplo de impresión para este caso se ilustra en la siguiente figura:

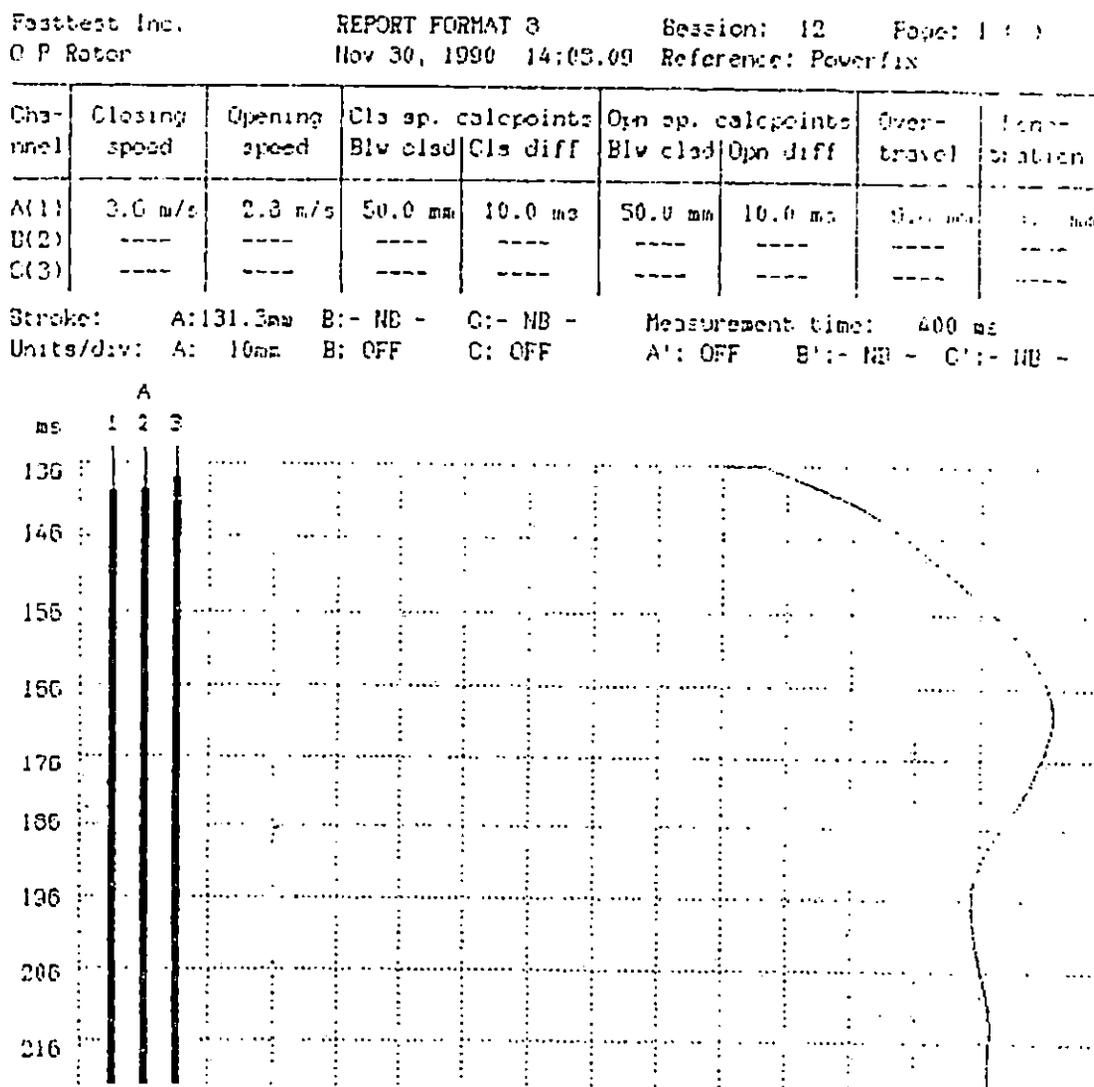
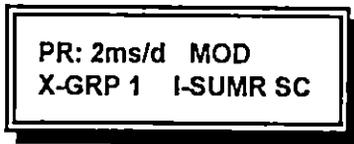


Figura 2.11 Detalle de impresión

La impresión de la figura anterior se logró por medio de los siguientes pasos:

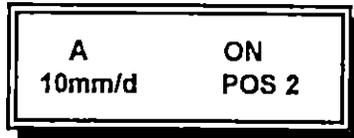
1-



PR: 2ms/d MOD  
X-GRP 1 I-SUMR SC

Seleccione el menú 8.2.10  
Seleccione un número pequeño de ms/div.  
Seleccione el campo MOD  
Entrada del próximo menú.

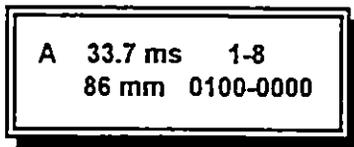
2-



A 10mm/d ON  
POS 2

Seleccione un factor de escala pequeño para la impresión (que cubra todo el trabajo).  
Fije el nivel de apertura del interruptor a la posición 2 para habilitar la impresión de la amplitud completa.

3-



A 33.7 ms 1-8  
86 mm 0100-0000

Presione enter en el menú DISP, entonces el tiempo será seleccionado para el primer evento que se ha elegido (en este caso el cierre del polo B).



A 40.0 ms 1-8  
134 mm 1110-0000

Mueva el cursor al campo tiempo, fije el tiempo a 4 div. (en este caso 8 divisiones después del inicio es lo deseado en la salida de impresión). Presione la tecla enter para iniciar la impresión.

4- Sin abandonar el menú, presione Enter para iniciar la impresión.

#### h. Descripción de la impresión.

El formato de impresión es seleccionado con la perilla del impresor del TM1600. Todas las impresiones (excepto para la posición 6) contienen un encabezado y sección de comentarios (4 líneas).

La descripción del ajuste es como sigue:

- 1- Resultado de tiempo en el orden de canal + gráfica de eventos, tiempo de escala comprimido. Los eventos presentados en el tiempo se resumen en una tabla: el contacto inicial activa el cierre y el contacto final separa la apertura, los rebotes menores a 10 ms en la apertura son suprimidas.
- 2- Tiempo resultante en el orden del canal. Presenta todos los eventos.
- 3- Tabla de eventos en orden de tiempo. Presenta todos los eventos.
- 4- Gráfica de eventos, autoescala lineal del tiempo.
- 5- No usada.

- 6- Estado estático de tiempo en el canal de entrada.
- 7- Impresor incorporado. Acción definida por I-SUMR en menú 2.1.8.b.5.
- 8- Impresor externo. Acción definida por X-GRP1 en menú 2.1.8.b.5.

Los formatos de impresión 7 y 8 son idénticos, la diferencia es el impresor donde ellos aparecen ( puede ser externo o interno).

Fijando la posición:

GR21-Orden de resultados de tiempo en el canal (correspondiente al ajuste para mayores que 1) + cálculo movimiento + gráficas.

GR22-Orden de resultados de tiempo (correspondiente al ajuste para mayores que 2) + cálculo de movimiento + gráficas.

GR23-Tabla de eventos en orden de tiempos (correspondiente al ajuste para mayores que 3) + cálculo de movimiento + gráficas

GRP1- Gráfica de eventos, movimiento y velocidad.

SUM1- Cálculo de movimiento.

Todos los tiempos presentados están referidos al inicio de la grabación.

Así, si por ejemplo una operación de cierre-apertura es deseada después de una apertura, el tiempo de inicio del pulso de disparo tiene que ser extraído del tiempo de apertura reportado.

### Ejemplo de aplicación: prueba de cierre y apertura

Esta prueba se realizó con el interruptor de potencia tipo LTB serie 145D1/B 8204479, subestación Santa Ana.

- Se conectó el interruptor como se muestra en la figura 2.12.
- Se realizaron las conexiones para el TM 1600 como se muestra en la figura 2.13. (Para la bobina de cierre (611), para la bobina de disparo(630), la alimentación entre las terminales B10(+)(600) y B10(-) (606) es 125 VDC, estas conexiones se realizarán en el gabinete de control del interruptor, su ubicación depende de cada modelo del interruptor.
- Se selecciono operación C-O en el switch de SEQUENCE.
- Ajustamos el OPEN DELAY (retardo de apertura) a cero (0.00).
- Fijamos el modo de impresión (Recomendado el modo 1).
- Iniciamos la operación del interruptor con el switch START.

El circuito de disparo podrá ser energizado cuando los contactos se cierran.

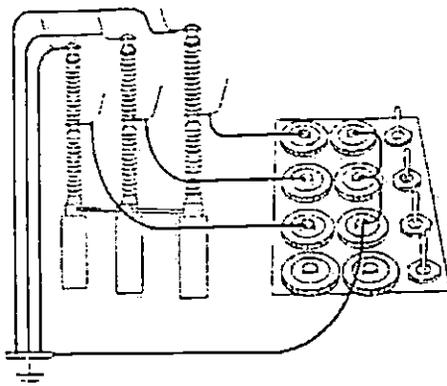


Figura 2.12 conexión del interruptor

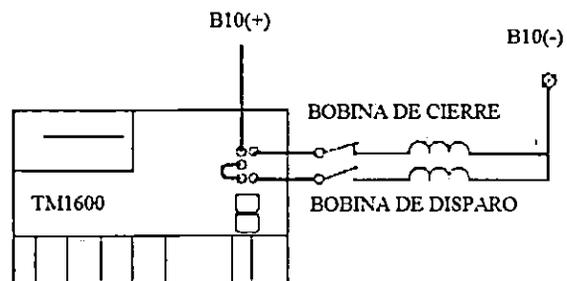


Figura 2.13 Conexión del TM1600

Resultados obtenidos de la prueba:

CEL SOYAPANGO      REPORT FORMAT 1      Session: 161      Page: 1 ( )  
 JOSE JOAQUIN GALERS      Oct 20, 1997 15:17.41      Reference: SUBESTAC. STA. ANA

Test object: INTERRUPTOR 35-7-02 Analizar contactos y tiempos de cierre y

Instrument: IM1600 SA-00020 R040 V000, M461 SA-00030 R07A V000

1 COMMENTS

apertura  
 LTB SERIE 14501/B 8204479

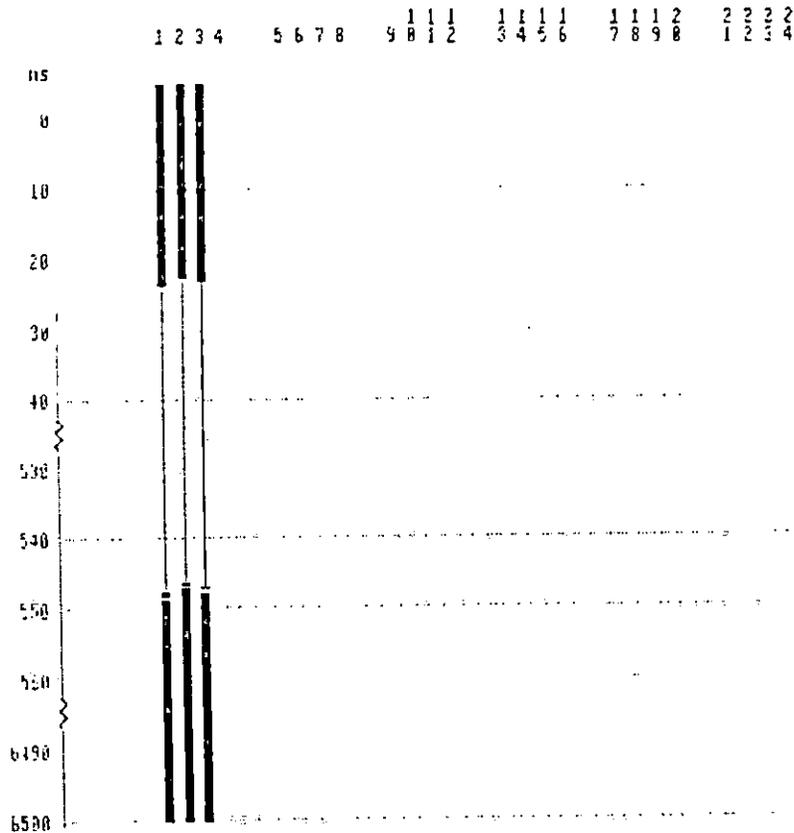
2 TIMING RESULTS IN CHANNEL ORDER

Presented events:  
 Initial contact touch at closure and final contact separation at opening  
 Opening bounces < 10 ns are suppressed.

CHANNEL 1	CHANNEL 2	CHANNEL 3	CHANNEL 4
23.7 ns Open 547.4 ns Close	22.1 ns Open 546.0 ns Close	22.7 ns Open 546.5 ns Close	

3 GRAPH OF EVENTS - COMPRESSED TIMESCALE

Presented events: All



## 2.2 RECICLADORA DE GAS SF6

### 2.2.1 Descripción

La función del reciclador es: recolectar, almacenar, purificar, evacuar y remover el gas SF6 desde el disyuntor. Las operaciones del reciclador de SF6 son controladas por los interruptores selectores localizados en el panel de control y las válvulas manuales localizadas en cualquier costado del panel de control.

**Conexiones eléctricas:** El voltaje a aplicar puede ser de 208, 240, 480 voltios AC, 50 ó 60 Hz, 3 fases. El voltaje y la frecuencia de operación esta especificado en el panel de control del reciclador. El cable de conexión (Vulcan #6 AWG de 3 conductores) esta localizado en la parte trasera del reciclador y será utilizado solamente para la fuente de suministro de energía de la unidad.

**Conexiones mecánicas:** Este sistema de conexión, para el montaje de las mangueras al disyuntor, está guardado en la parte posterior del reciclador (acople estacionario con ensanchamiento cónico).

#### **Verificación preliminar.**

Antes de operar la unidad, verifique y anote lo siguiente:

1. **Nivel de aceite.** Verifique que el nivel de aceite sea el adecuado en la bomba de vacío (Hp11) y el compresor (HP4). Agregue aceite si es necesario. Vea la sección 2.2.11(Servicio y mantenimiento) para el mantenimiento y tipo de aceite adecuado.
2. **Faseo.** Todos los componentes rotatorios están alambrados en sincronía para una rotación correcta. Verifique el sistema eléctrico energizando momentáneamente la bomba de vacío como sigue:  
Con el interruptor energice momentáneamente la bomba de vacío. Si el motor no gira (bloqueo producido por el relé), cambie el faseo invirtiendo la conexión del cable en la fuente o con el interruptor CB1, localizado a un costado del panel de control .
3. **Sistema de refrigeración.** Si es necesario agregue refrigerante (Aplicar refrigerante del tipo indicado en la placa del condensador de la unidad HP26). ver sección 2.2.11 parte B.
4. **Operación en clima frío.** Antes de encender el sistema en ambientes de baja temperatura, encienda los calentadores de la caja del cigüeñal durante una hora, para permitir que el aceite se caliente y luego apáguelo (el interruptor está localizado en el panel de control).

El diagrama de flujo del gas se muestra en el anexo 3, en él podemos observar la ruta que sigue el gas en cada proceso detallado a continuación.

### 2.2.2 Evacuación de aire del reciclador

1. Conecte una manguera desde el reciclador (HP41) al disyuntor o cualquier compartimiento hermético de SF6, para conexión de servicio a baja presión (válvula "A").
2. Abra las válvulas: V9, V14, V15, V19, V23, V49, V30, V37, V38, V55, V59, V60 y V61.
3. Cierre las válvulas: V10, V27, V42, V46, V52 de la unidad. Mantenga la válvula del disyuntor cerrado .
4. Arranque la bomba de vacío HP11.
5. Opere la bomba hasta obtener un vacío de 300 microm (0.3 mmHg), vea la lectura en el medidor M1.
6. Cierre las válvulas V15 y V61.
7. Apague la bomba de vacío HP11. Observe la lectura en el medidor de vacío M1, si la lectura no esta sobre los 2 mmHg (2000 microm) después de 10 minutos, encienda nuevamente la bomba HP11 y abra la válvula V15 y continúe evacuando el sistema hasta obtener el vacío de 2 mmHg (manteniéndolo en estas condiciones por 10 minutos).

### 2.2.3 Bombeo de SF6 desde el disyuntor hacia el reciclador

Es recomendable que el tanque de almacenamiento HP31, luego de haber ejecutado el proceso de la evacuación de aire del reciclador, sección 2.2.2 (Evacuación de aire del reciclador), sea llenado con gas SF6 con un cilindro extra, manteniendo una presión arriba de 0 psi. Esta carga extra remanente debe de estar todo el tiempo, para mantener el gas en un ambiente seco al interior del tanque HP31, y eliminando la necesidad de evacuar el tanque de almacenamiento para futuras transferencias.

1. Cierre todas la válvulas de palanca.
2. Conecte la manguera desde HP41, al disyuntor. Mantenga la válvula del disyuntor cerrada. Abra las válvulas V15, V23, V49; encienda la bomba de vacío, HP11, hale la manguera 0.5 mm aproximadamente para generar un vacío y luego apague la bomba de vacío y cierre las válvulas V15 y V23.
3. Abra las válvulas V9, V14, V30, V37, V59, V60.

**Nota:** Observe y compare la presión del disyuntor y del tanque de almacenamiento HP31, en el medidor M3. Si la presión es más alta en el disyuntor efectúe la operación del paso 3 totalmente; si la presión del tanque es más alta, mantenga cerrada la válvula V9 del paso 3 y omita el paso 6.

4. Abra la válvula del disyuntor.
5. Arranque la unidad de refrigeración HP26.
6. Cuando la presión se estabilice entre el disyuntor y el tanque HP31, cierre la válvula V9.

7. Arranque el compresor HP4. El regulador de presión HP39, es colocado para mantener la presión entre 7 y 10 Psig con el sentido de flujo disyuntor-tanque (Compresor succionando la presión). Chequee la presión indicada en el medidor M6, el interruptor S13 localizado a un costado del compresor (HP4) de SF6 debe estar encendido (ON).
8. Cuando el medidor M6 indique 0 psi:
  - a) Cierre la válvula V23.
  - b) Cierre la válvula V14.
  - c) Abra la válvula V10
  - d) Arranque la bomba de vacío HP11.
  - e) Chasquee la válvula V15, abra y mantenga la presión a 0 psi, en el compresor de succión.
  - f) Mantenga el compresor a una presión de entrada de 0 psi. (medidor M6) Por medio del estrangulador de la válvula V15.
9. Cuando el medidor M1, alcance el vacío deseado (10 mmHg aproximadamente), cierre el sistema como sigue:
  - a) Cierre la válvula V15.
  - b) Apague la bomba de vacío HP11.
  - c) Apague el compresor HP4
  - d) Cierre todas las válvulas de palanca.
  - e) Apague la unidad de refrigeración.

#### **2.2.4 Deshidratación y purificación del SF6 dentro del reciclador**

Antes de retomar el gas al disyuntor haga lo siguiente:

- 1) Cierre todas las válvulas de palanca.
- 2) Abra las válvulas V14,V19,V30,V37,V55,V59,V60.
- 3) Encienda el compresor HP4.
- 4) Mida el contenido de humedad con un equipo apropiado en la salida del ciclo de purificación V46 (válvula de muestreo), localizado en el saliente empotrado del filtro HP36.
- 5) Continúe el muestreo de gas en intervalos de una hora, hasta que se obtenga la deshumidización deseada. Luego desenergice el compresor del gas HP4 y cierre todas las válvulas que se abrieron en el paso 2.

#### **2.2.5 Evacuación del aire del disyuntor antes de cargarlo con gas SF6**

- 1) Cierre todas las válvulas de palanca.
- 2) Conecte la manguera entre el reciclador (HP41) y el disyuntor.
- 3) Abra las válvulas V15,V23,V49.
- 4) Abra la válvula del disyuntor.
- 5) Encienda la bomba de vacío HP11.
- 6) Mantenga el bombeo hasta obtener el vacío deseado (2mmHg), indicado por el medidor M1.

- 7) Cierre la válvula V15.
- 8) Apague la bomba de vacío HP11.
- 9) Cierre la válvula V23.

### 2.2.6 Cargado/llenado del disyuntor con gas SF6

Luego de ejecutar los pasos de las secciones 2.2.4 (Deshidratación y purificación) y 2.2.5 (Evacuación de aire del disyuntor), proceda como sigue:

- 1) Cierre todas las válvulas de palanca.
- 2) Abra las válvulas V19, V30, V49, V55 y la del disyuntor.
- 3) Encienda el calentador HR4, para evaporar el líquido en el tanque de almacenamiento HP31.
- 4) Cuando la presión en el tanque de almacenamiento HP31, se haya reducido cerca de 75 psi. y se requiere más transferencia de gas, haga lo siguiente:
  - a) Apague el calentador HR4.
  - b) Cierre la válvula V19 y deje la V49 abierta.
  - c) Abra las válvulas V9, V38, V55, V59, V60 y verifique que la V49 esté abierta.
  - d) Encienda el compresor HP4.
  - e) Cuando ya no se requiera más transferencia de gas o la lectura del medidor M6, está abajo de 1 Psi; apague el compresor HP4. Cierre todas las válvulas de palanca.

### 2.2.7 Transferencia de SF6 desde la recicladora a los cilindros

Existen dos métodos de transferencia de gas a los cilindros:

- MÉTODO I. Transferencia cuando haya solamente vapor en el tanque de almacenamiento.
- MÉTODO II. Transferencia cuando haya solamente mezcla de vapor/líquido en el tanque de almacenamiento.

**Nota:** Si los cilindros están contaminados ( presión del cilindro abajo de 0 Psi ) , se deberán evacuar como sigue:

- 1) Enganche el cilindro en la entrada del reciclador ( manguera HP41).
- 2) Procese el cilindro como si fuera el disyuntor, sección 2.2.5. (Evacuación del aire del disyuntor antes de cargar con gas SF6).
- 3) Cierre la válvula del cilindro después de la evacuación.

#### METODO I

- 1) Conecte el cilindro a la válvula V42 del tanque almacenador de líquido.
- 2) Coloque el cilindro en baño de hielo o la manguera del cilindro bajo agua helada.
- 3) Abra la válvula V42.

- 4) Chequee la conexión de la manguera cerca del cilindro para purgar el aire. Luego apriete la conexión de la manguera.
- 5) Abra la válvula del cilindro.
- 6) Cuando el peso del líquido de SF6 en el cilindro sea de 100 lbs. libere el cilindro cerrando la válvula V42 y la válvula del cilindro.

## **METODO II**

- 1) Conecte el cilindro a la válvula V42 del tanque almacenador de líquido.
- 2) Coloque el cilindro horizontalmente y anote su peso.
- 3) Anote la presión del tanque de SF6 indicada en el medidor M3 y la temperatura del medidor M4. Chequee la presión de vapor de SF6 versus la curva de temperatura marcada en el tanque de almacenamiento que contiene el SF6 líquido. ( si en el tanque de almacenamiento el contenido no es líquido, use el método I ).
- 4) Si determina que el contenido del SF6 en el tanque de almacenamiento es líquido, anote la temperatura exterior y chequee el equivalente de presión de vapor en la curva. Si la presión en el tanque no es mayor (a 25 Psi) que la equivalente en la presión de vapor, entonces energice los calentadores del tanque de almacenamiento HR4, hasta lograr la presión deseada.
- 5) Sumerja la manguera del cilindro en agua helada para una mayor velocidad de transferencia de calor.
- 6) Abra la válvula V42, abra la conexión de la manguera al cilindro para purgar el aire y luego cierre la conexión de la manguera.
- 7) Abra la válvula del cilindro.
- 8) Cuando el líquido de SF6 pese 100 lbs. después de la transferencia al cilindro, cierre la válvula V42 y la válvula del cilindro.

**Nota:** Durante la transferencia líquida de SF6 desde el tanque hacia el cilindro, determine la presión remanente que queda en el tanque; cuando la presión en el tanque, M3, cae drásticamente, el contenido en el tanque es solamente gas SF6. Repita el método I para futuras transferencias.

### **2.2.8 Deshidratación y purificación del SF6 por la recirculación entre el interruptor y reciclador**

Si la deshidratación y purificación son requeridas sin la remoción del gas desde el interruptor, efectúe lo siguiente:

- 1) Asegúrese de que todas las válvulas de palanca estén cerradas.
- 2) Conecte una manguera (HP41) entre la válvula V49 y el interruptor, y otra manguera entre la válvula V52 y el interruptor.
- 3) Retire la manguera, HP41, realizando los pasos de la parte 2.2.3 (Bombeo de gas desde el interruptor hacia el reciclador). Entonces saque el aire de la manguera que está conectada a la válvula V52, liberando el acople de la válvula V52 y momentáneamente, abra cuidadosamente la válvula en el interruptor. Entonces vuelva a apretar el acople a la válvula V52.

- 4) Abrir las válvulas: V14, V38, V49, V52 y V60.
- 5) Encienda el compresor, HP4.
- 6) Cuando no sea necesaria más recirculación, apague el compresor, HP4, y cierre todas las válvulas abiertas en el paso 4.

### 2.2.9 Llenado del reciclador desde cilindros con SF6

- 1) Coloque un cilindro lleno de gas SF6 en un barril de acero de 55 galones, llénelo a la mitad con agua. Una el regulador de presión secundario de 200 Psi al cilindro. Una la manguera de ½ " de diámetro, con el acople y su respectiva válvula, entre la válvula V49 del reciclador y la salida del regulador de presión de SF6 en el cilindro. Mantenga la válvula del cilindro cerrada, abra la válvula V23 y V49. Encienda la bomba de vacío HP11. Abra la válvula V15 y tire un vacío en la manguera del cilindro, entonces cierre la válvula V15 y detenga la bomba de vacío.
- 2) Abra las válvulas V9, V14 y V30. Con una válvula de bola de ½ " a la salida del regulador de presión de SF6 cerrada, y el regulador de presión fijado para "no flujo", abra la válvula del cilindro de SF6 y ajuste el regulador para una salida de presión de aproximadamente 150 Psi. Abra la válvula de bola de ½" que está en la salida del regulador de presión de SF6 y permita el flujo dentro del tanque de almacenamiento.

A medida que se vaporiza el líquido SF6 en el cilindro, caliente el agua en el barril con una llama por la parte exterior del barril.

Cualquier otro medio de calentamiento es aceptable siempre que la llama no vaya a hacer contacto con el cilindro de SF6 y la temperatura del agua no exceda de 130°F.

Cuando la presión entre el tanque de almacenamiento del reciclador y el cilindro de SF6 son iguales (silbido de detener la entrada de gas), cierre la válvula V9; abra las válvulas V37, V59, V60. Eche a andar el compresor de gas SF6 HP4.

Cuando la presión en el cilindro es reducida aproximadamente 0 Psig (como se ve en medidor secundario del regulador de presión de SF6 cuando la válvula de bola de ½ " del regulador de presión es cerrada momentáneamente), cierre la válvula de bola para una presión permanente. Detenga el compresor de SF6 y cierre todas las válvulas de palanca.

- 3) Desconecte el cilindro vacío desde el regulador de presión y remueva el cilindro del barril. Reemplace con un cilindro lleno y repita el paso 2, asumiendo que la presión entre el tanque y el cilindro es igual; por tanto manteniendo la válvula V9 cerrada. Energice la unidad de refrigeración HP26 y repita el paso 2 para todos los cilindros que sean requeridos ó necesitados.

### 2.2.10 Método alternativo para llenar el reciclador desde cilindros estándar de SF6

- 1) Una el sistema de la válvula de bola suministrado, para un cilindro lleno de SF6. Figura 2.14.
- 2) Levante el cilindro que contiene el gas SF6 (Estado líquido) un pie mínimo sobre el nivel del tanque de almacenamiento del reciclador, e invierta el cilindro (Figura 2.14).

- 3) Una la manguera del cilindro suministrada, entre el cilindro y la válvula V42, localizada en la parte inferior del tanque de almacenamiento del reciclador.
- 4) Abra la válvula del cilindro y la válvula de bola juntas. Con la válvula V42 del tanque de almacenamiento cerrada, afloje la manguera acoplada a la válvula V42 y saque el aire de la manguera, para permitir que el SF6 desplace el aire. Saque la manguera acoplándola y abra la válvula V42 . El líquido SF6 es transferido al tanque de almacenamiento.
- 5) Cuando todo el líquido es transferido al tanque de almacenamiento (la vibración de la manguera en la transferencia se debe a que el flujo del líquido se detiene), cierre la válvula del cilindro y la válvula de bola juntas.
- 6) Desconecte la válvula de bola desde la válvula del cilindro manteniendo la válvula cerrada.
- 7) Levante el próximo cilindro, una la válvula con la manguera removida en el paso 6. No es necesario purgar la manguera, ya que ésta está aún llenada con gas SF6.
- 8) Repita el paso 7 para todos los cilindros que sean necesitados.  
Después de vaciar el último cilindro, cierre la válvula V42 en el tanque de almacenamiento, cierre la válvula de bola en el otro extremo de la manguera para liberar la presión en ella, entonces remueva la manguera desde la válvula V42 y únala a la unidad de la boquilla de la válvula V49.
- 9) Coloque los cilindros vacíos al lado derecho.
- 10) Una la válvula de bola de ½ " con un medidor de presión de 0-600 Psi a uno de los cilindros. Una la manguera a la válvula de bola en el cilindro (Figura 2.15).
- 11) Con las válvulas del cilindro cerradas abra las válvulas V23 y V49 en el reciclador. Energice la bomba de vacío HP11, abra la válvula V15 y cree un vacío en la manguera del cilindro, cierre la válvula V15 y apague la bomba de vacío.
- 12) Abra la válvula del cilindro y la válvula de la bola juntas. Abra las válvulas V14, V30, V37, V59 y V60 del reciclador, energice el compresor de gas SF6 (HP4) y la unidad de refrigeración HP26.

**NOTA:** El calentamiento del cilindro de SF6 no es necesario para esta fase de transferencia ya que todo el líquido del cilindro ha sido removido en los pasos del 1 al 8.

- 13) Cuando la presión en el cilindro se reduce aproximadamente 0 Psig (como se ve en el medidor unido al cilindro cuando la válvula de bola en el cilindro es momentáneamente cerrada), cierre la válvula del cilindro y la válvula de la bola juntas. Detenga el compresor de SF6 y cierre la válvula V49 del reciclador.
- 14) Con la válvula de bola del cilindro, en posición cerrada, de tal manera de no contaminar la manguera con aire, desconecte la válvula de bola y el medidor desde la válvula del cilindro.
- 15) Conecte el próximo cilindro, vaciado de líquido en los pasos del 1 al 8, para el conjunto medidor/válvula y repita los pasos del 12 al 14.
- 16) Repita el paso 15 para cilindros que estén vacíos.

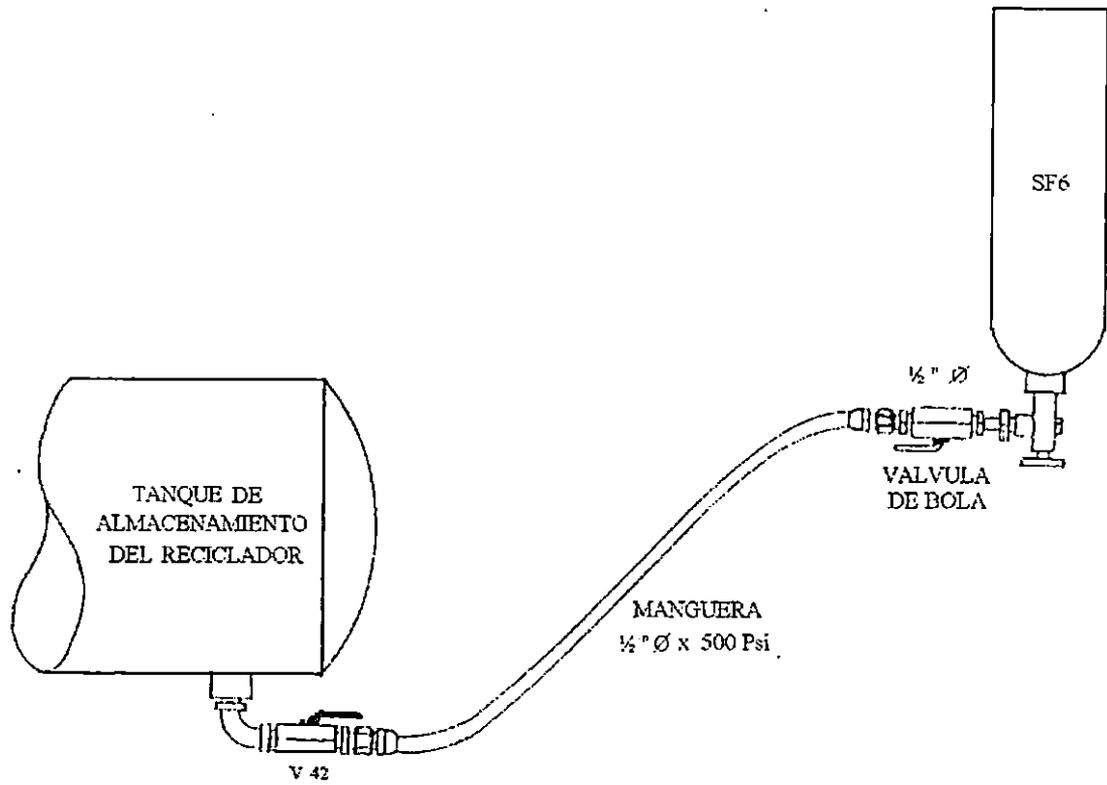


Figura 2.14 Transferencia de líquido

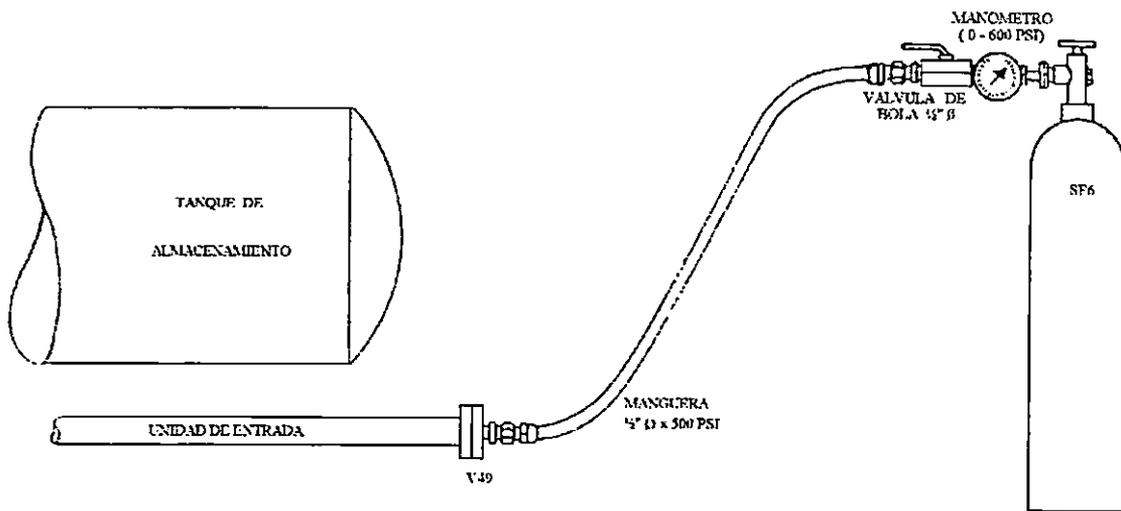


Figura 2.15 Transferencia de gas

## 2.2.11 Servicio y mantenimiento

### A. Procedimiento para efectuar el ciclo de purificación<sup>1</sup>

- 1) En el ciclo de purificación intervienen los siguientes elementos.
  - a) Dos Cartuchos de aceite removibles (B/M 630 & 629) localizados dentro de la caja del filtro, HP21 y HP62.
  - b) Cincuenta y cinco libras de desecante (B/M # 476) localizado dentro de la cámara de secado HP43.
  - c) Un cartucho de alúmina activa (B/M # 416)
  - d) Un cartucho de soda cálcica (B/M # 415)
  - e) Un cartucho de vapor de aceite removible (B/M # 576)  
Todos estos elementos están localizados dentro de la caja del filtro HP44.
  - f) Un filtro de partículas de 2 micrometros (B/M # 577A) localizado dentro de la caja del filtro HP36.
  
- 2) Cuando el desecante en la cámara de secado empieza a saturarse con humedad (aproximadamente 100 horas de operación) este podrá ser regenerado como sigue:
  - a) Cerrar todas las válvulas de palanca.
  - b) Abrir la válvula V46 y reducir la presión en el ciclo de purificación a cero PSIG (hasta que deje de silbar).
  - c) Cierre la válvula V46.
  - d) Abra las válvulas V23 y V61.
  - e) Energice el calentador del secador, HR5, por medio del interruptor S14, localizado en el panel de control. Deje el calentador encendido durante 1 hora, luego arranque la bomba de vacío HP11.
  - f) Mantenga funcionando la bomba de vacío por 3 horas con el calentador HR5 energizado, luego pare la bomba y apague el calentador por medio del interruptor S14.
  - g) Cierre la válvula V23 y V61.
  - h) Deje que el desecante se enfríe (para evitar quemaduras al tocar la caja de desecante), entonces abra la válvula V19 y V30.
  - i) Presurice el contenedor del desecante lentamente, sienta por medio del tacto la temperatura de este contenedor. Si se empieza a calentar cierre la válvula V30 y espere a que enfríe. Cuando el contenedor del desecante este totalmente presurizado y el recipiente del desecante este frío al tacto, el trailer está listo para su operación.
  
- 3) Los tres cartuchos del HP24 necesitan ser reemplazados después de aproximadamente 300 horas de operación. Reemplácelos de la siguiente forma:
  - a) Reduzca la presión en el HP44 a 1 atmósfera repitiendo el paso 2 literales a y b, de la parte 2.2.11.
  - b) Remueva la pestaña de la caja HP44
  - c) Remueva el resorte, reteniendo los cartuchos en su lugar.

---

<sup>1</sup>Aplicar solo a equipos de reciclaje con máquina secadora HP43 y un ciclo de purificación HP44.

- d) Remueva los cartuchos viejos y reemplácelos con nuevos en el orden listado en el paso 1, literales c, d y e de la parte 2.2.11, con la flecha apuntando hacia afuera.
  - e) Vuelva a colocar el resorte y la pestaña.
- 4) Reemplace el cartucho de aceite del filtro HP21 y HP62, al mismo tiempo reemplace los cartuchos del paso 3, de la siguiente forma:
- a) Abra las válvulas V38 y V46 y reduzca la presión en HP21 a cero PSIG.
  - b) Remueva todas las conexiones desde la parte de arriba del filtro y remueva la pestaña del filtro, instale en nuevo filtro y coloque nuevamente la pestaña.
- 5) Reemplace el filtro de partículas HP36, al mismo tiempo que reemplaza los cartuchos del paso 3, de la siguiente manera:
- Reduzca la presión en HP36 a la presión atmosférica abriendo la válvula V46.
  - Remueva el broche de la caja, instale un nuevo filtro y reinstale el aro y el broche.

#### **B. Procedimiento para cargar la unidad de refrigeración HP26**

Cuando la unidad de refrigeración necesite carga, haga lo siguiente.

- a) Remueva el compartimento de almacenaje desde la barra de acople
- b) Remueva la cubierta frontal.
- c) Localice la válvula de succión del compresor de refrigeración y remueva la tapa de la válvula de succión.
- d) Conecte un cilindro lleno con R22, por medio de una manguera, a la válvula de succión del compresor.
- e) Abra la válvula de succión y la válvula del cilindro.
- f) Energice la unidad de refrigeración y permita que el refrigerante sea succionado hasta que no se vean burbujas en el cristal, HP18.
- g) Detenga la unidad de refrigeración y cierre la válvula de succión. Coloque nuevamente el tapón de la válvula de succión.

#### **C. Procedimiento para carga de aceite en la bomba de vacío, HP11**

- 1) La bomba de vacío retiene un galón de una sustancia no-detergente, con alta demulsibilidad y con alto punto de lubricación con inhibidores de óxido y oxidación.
- 2) Cambie el aceite dos veces al año usando uno de los siguientes tipos.
  - a) Mobil 1
  - b) Leybold - Heraeus tipo HE175.

#### **D. Procedimiento para mantenimiento del compresor HP4**

- 1) Para agregar aceite al compresor, haga lo siguiente.
  - a) Cierre todas las válvulas de palanca y abra V37 y V60.

- b) Ponga el interruptor S13, localizado a un lado del compresor, en posición OFF.
  - c) Una un tubo a la válvula V56 localizada en el frente del compresor e inserte el tubo dentro de un bote de SUNISO, grado 3GS, aceite refrigerante.
  - d) Encienda el compresor HP4 hasta que el medidor M6 indique vacío en el lado de succión del compresor.
  - e) Apague el compresor, abra la válvula V56, hasta que el aceite empiece a ser succionado por el compresor. Cuando el nivel de aceite en el compresor visto a través del visor alcance aproximadamente  $\frac{3}{4}$  de llenado, cierre la válvula V56, ahora coloque el interruptor S13 en posición ON.
- 2) Cambiar el aceite del compresor HP4, dos veces al año, use aceite refrigerante SUNISO grado 3 GS o Texaco tipo WF 32.
- Para cambiar el aceite siga los siguientes pasos:
- a) Coloque el interruptor S13 en posición OFF.
  - b) Reduzca la presión en el compresor a una atmósfera.
  - c) Coloque un recipiente debajo del compresor.
  - d) Quite el tapón del aceite para drenaje, y espere a que salga todo.
  - e) Coloque nuevamente el tapón.
  - f) Abra parcialmente la válvula V56 e introduzca (por gravedad) el aceite dentro del compresor.
  - g) Cuando no entra más aceite, ejecute el procedimiento descrito en el literal "d", paso 1.

#### **E. Procedimiento para servicio del tanque de almacenamiento HP31**

Drene el tanque, HP31; remueva el acumulador de materias extrañas y limpie las impurezas de aceite cada tres meses como sigue.

- a) Remueva todo el gas SF6 del tanque.
- b) Cierre todas las válvulas de palanca.
- c) Conecte una manguera de drenaje a la válvula V27.
- d) Conecte una fuente de nitrógeno (seco) a la válvula V42.
- e) Abra las válvulas V27 y V42.
- f) Purifique el tanque con nitrógeno hasta que todos los sedimentos acumulados sean removidos.

Los problemas más comunes que pueden presentarse en la recicladora y la forma de solucionarlos están descritas en el anexo 4.

### **2.3 MEDIDOR DE PUNTO DE ROCIO MBW DP9 ABB**

#### **2.3.1. Generalidades.**

##### **Funcionamiento y descripción.**

El instrumento modelo DP9 ABB sirve para la medición de la humedad, en forma continua o mediante pruebas de control, de Hexafluoruro de azufre (SF6) nuevo o parcialmente descompuesto. La medición se hace bajo una sobrepresión de un

mínimo de 10 mbar hasta un máximo de 10 bar (1 Kpa hasta un máximo de 1 Mpa). El flujo de gas ocurre por la diferencia de presión entre la entrada y la salida del instrumento. Si la diferencia de presión es demasiado pequeña, o si debe regresarse el gas medidor, se requiere una bomba (opcional).

La medición de punto de rocío se efectúa según el principio del espejo enfriado. El espejo se enfría con una batería Peltier, hasta que se forma una precipitación de rocío. La fotoóptica regula la potencia de enfriamiento hasta aquella temperatura para la cual se forma una capa constante de rocío. Esta temperatura, medida con un sensor resistente (DIN 43760) Pt 100, corresponde exactamente al punto de rocío y se indica en forma digital después de la linealización.

El principio de medición del espejo de punto de rocío garantiza una indicación exacta y directa en grados celcius. Todo el sistema esta libre de envejecimiento y no requiere, por tanto, de ninguna calibración posterior. La indicación se hace con signo + ó - automáticamente, la salida analógica, prevista en forma estándar, sirve, mediante accesorios adecuados, para graficar los valores medidos. En caso de dudas respecto al valor medido indicado, se usa una entrada de temperatura adicional, para conectar resistencias sustitutas, entregadas de fabrica, para medir así cinco diferentes puntos de control. El instrumento es fácil de portar y colocado en el correspondiente estuche de transporte, puede llevarse conjuntamente con todos sus accesorios a cualquier parte.

#### Fabricación estándar ABB.

La fabricación estándar consiste de:

- Instrumento para medir el punto de rocío, con flujómetro incorporado.
- Manguera de conexión, de PTFE revestido de acero con acoplamiento de cierre, válvula reguladora y acoplamiento DILO de 4 ó 6 metros de largo, según selección.
- Cinco resistencias de control de temperatura.
- Herramienta y material de limpieza.
- Indicaciones para uso.
- Caja o estuche de transporte.

#### 1. Datos técnicos

Limites de medición (rangos)	Temperatura ambiente	Máx.potencia de enfriamiento
	0°C	- 60°C
	25°C	- 50°C
	50°C	- 40°C
	(Medición a presión atmosférica, con sobrepresión es algo menor.)	
Indicación	Digital, 3 ½ cifras, resolución 0,1°C.	
Exactitud	≤ ± 0,4°C, ± 1 Dígito, + Tolerancia Pt 100	
Reproducción de valores	≤ ± 0,2°C, ± 1 Dígito	
Sensibilidad de respuesta	0,1°C	

Velocidad de colocación	2°C/seg. Máx.
Salida Analógica	± 10 mV/°C, 0°C = 0 mV.
Principio de medición	Espejo de punto de rocío, recubierto de Rhodium, palpado óptico.
Medición de temperatura	Resistencia de platino Pt 100, según norma DIN 43760
Enfriamiento	Elemento Peltier, 3 etapas.
Consumo de gas medidor	15 hasta 60 lt/h, normal 30 hasta 40 lt/h.
Sobrepresión del gas medidor	Min. 10 mbar, máx. 10 bar (1 Kpa - 1 Mpa).
Diferencia de presión del gas medidor	Mín. 10 mbar (1 Kpa).
Voltaje de la red	100/110/127/200/220/240 VAC± 10%, 50/60 Hz.
Potencia absorbida	Máx. 160 Watt.
Temperatura ambiente	-10 ... +50°C en operación y almacenado.
Humedad del ambiente	Máx. 90% Hr, no condensa.
Peso	8 Kg. Sin caja de transporte, ni accesorios. 23 Kg. Con caja de transporte y accesorios.
Dimensiones del instrumento	155(B) x 490(L) x 175(H) mm, sin medidor de flujo.
Dimensiones del estuche	400(B) x 600(L) x 340(H) mm.

## 2. Principio de medición.

La medición del punto de rocío se hace según el principio del espejo enfriado. El espejo se enfría con una batería Peltier hasta que se forma una precipitación de rocío. La fotoóptica regula la potencia de enfriamiento para aquella temperatura a la que se forma una capa constante de rocío o escarcha. La temperatura se mide con un sensor PT-100 (DIN 43760), corresponde exactamente al punto de rocío y se indica en forma digital después de la linealización.

## 3. Descripción de esquema de bloques.

El cabezal medidor consiste esencialmente en la batería Peltier (7), en cuyo lado frío esta montado el espejo de punto de rocío (2), con sensor de temperatura (3) instalado.

El calor resultante se saca a través del enfriador (8), con ayuda del ventilador (14).

La formación de rocío se controla con la fotoóptica, que consta de la lámpara del cabezal medidor (1) y la fotoresistencia (4), y la señal de la foto-resistencia se procesa en el regulador Peltier (5). La corriente Peltier se regula en la siguiente etapa final (6), de manera que se forma una capa de rocío definida, sobre el espejo.

La temperatura, medida con el sensor de temperatura PT-100 (3), se amplifica en el amplificador de temperatura (9), se linealiza y se indica en el instrumento digital.

Como aun las pequeñas diferencias de claridad de la lámpara (1) entrarían de inmediato en el resultado de la medición, se estabiliza con gran exactitud el voltaje de alimentación en el estabilizador de lámpara (11). En esta bloque están colocados también los rectificadores para las tensiones auxiliares, que se regulan en el estabilizador (13) a los valores requeridos  $\pm 15$  V DC.

La parte correspondiente a la red consta de transformador y del rectificador de potencia para la corriente de Peltier.

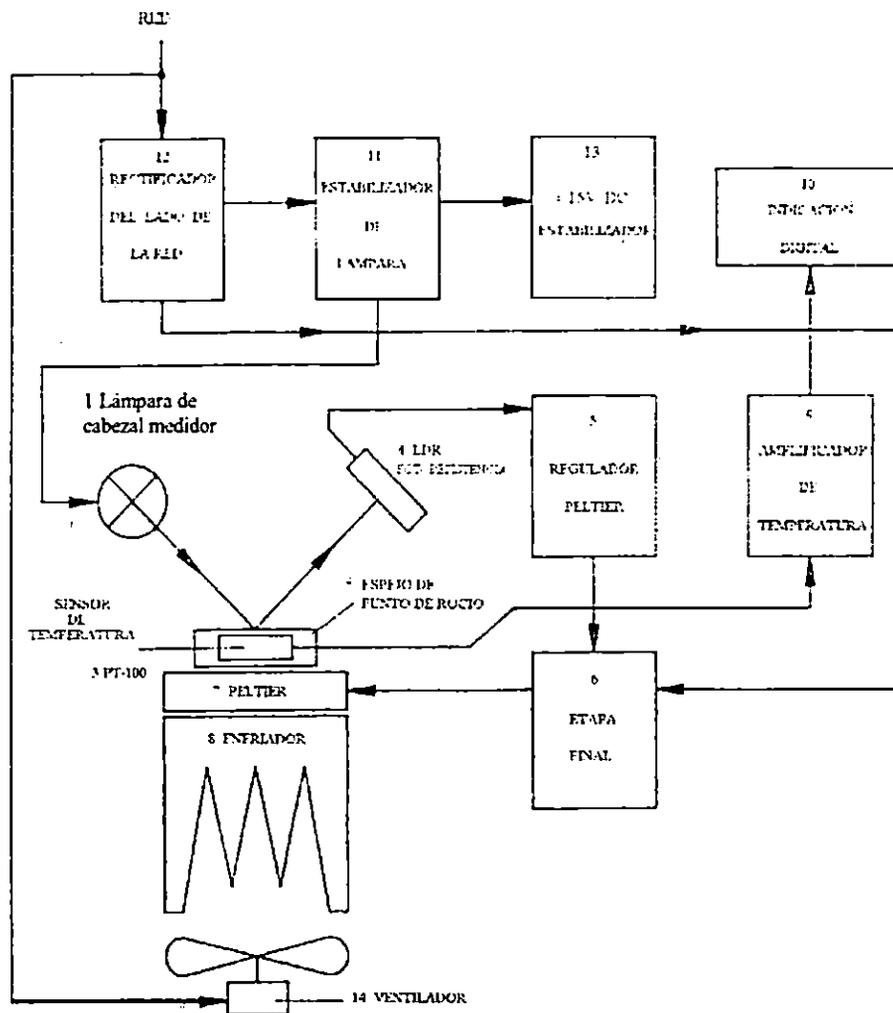


Figura 2.16 Esquema de bloques

#### 4. Conducción del gas medidor.

Este instrumento especial para la medición del gas aislante SF6 se entrega con una manguera de conexión PTFE revestida de acero, una válvula de regulación y un acoplamiento de cierre Walther.

El flujo de gas, aproximadamente de 40 lt / h, se puede ajustar mediante la válvula de regulación o el flujómetro.

Para garantizar un flujo de gas constante, la diferencia de presión entre la entrada y la salida del instrumento debe ser de por lo menos 10 mbar (1 Kpa).

**IMPORTANTE:** La presión del gas de medición no debe sobrepasar 10 bar (1 Mpa).

#### 2.3.2 Descripción del instrumento

##### 1. Voltaje de la red

El instrumento se ajusta en la fábrica al voltaje de la red de 100, 110, 127, 200, 220 o 240 Voltios según especifique el comprador. El selector de voltaje es accesible al destornillar la cubierta y se puede ajustar con un destornillador. Deben colocarse los correspondientes fusibles (1.6 ó 3.1 Amp. de repuesta lenta) según sección 2.3.2, numeral 2.

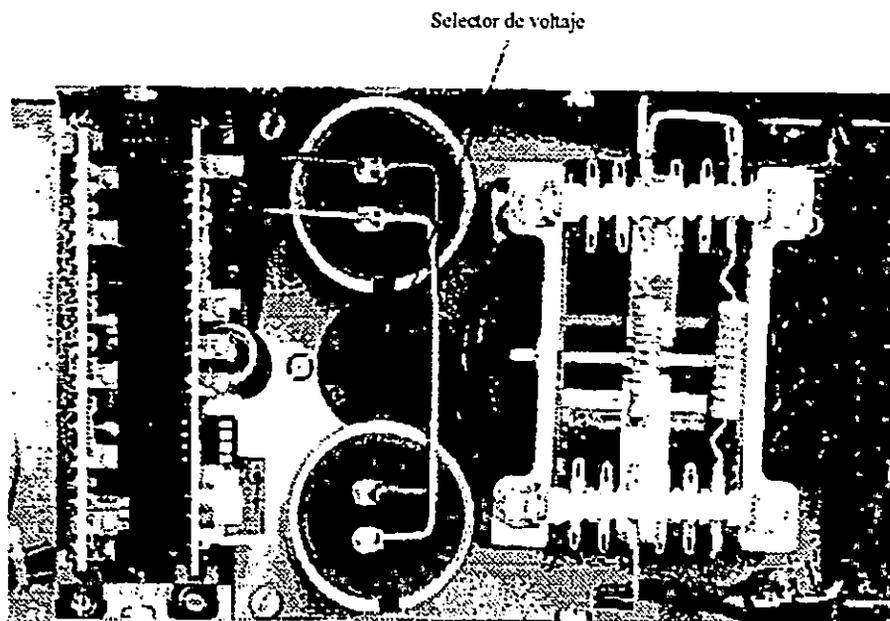


Figura 2.17 Ubicación del selector de voltaje

## 2. Cambio del fusible de la red.

Se destornilla la parte de abajo del instrumento. Bajo el bloque del enfriador del cabezal de medición hay dos sujetadores con fusibles 5x20 mm; para 200, 220, 240 V; de 1.6 A; lentos o para 100, 110, 127 V; de 3.1 A; lentos.

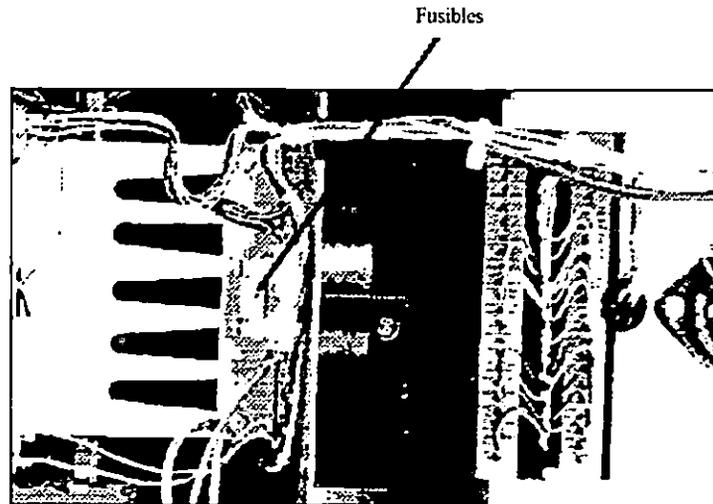


Figura 2.18 Ubicación de fusibles

## 3. Conexiones del lado del cabezal de medición.

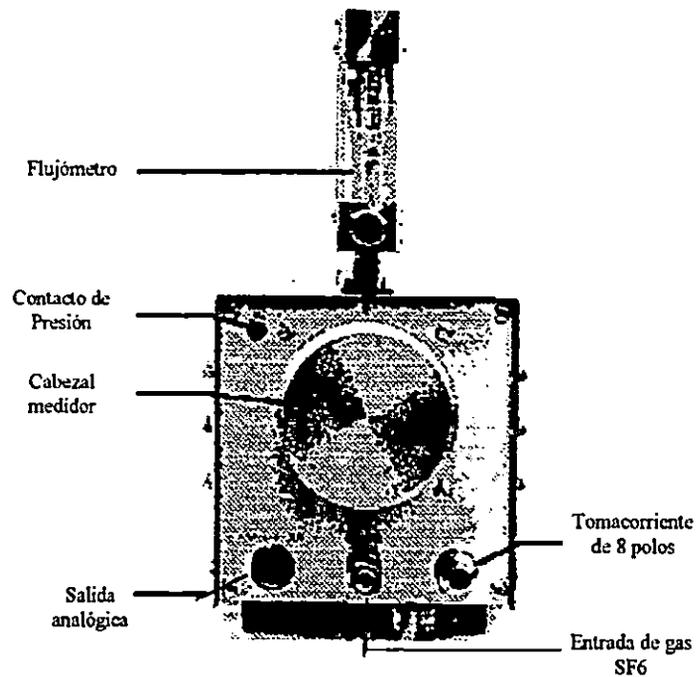


Figura 2.19 Cabezal medidor

### Cabezal medidor.

El cabezal medidor puede abrirse fácilmente, después de cerrar la válvula de entrada y disminuir cualquier sobrepresión del gas medidor que eventualmente exista en el instrumento (Abriendo la válvula del flujómetro). Al girar la cubierta del cabezal medidor hacia la izquierda, se puede destornillar el cabezal medidor. La parte interna del cabezal medidor PTFE se puede sacar entonces. La parte interna que ha quedado libre muestra a la izquierda los contactos para la fotoresistencia y a la derecha, los contactos para la lámpara. Entre la introducción del gas (arriba) y la salida del gas (abajo) esta el espejo revestido con una capa de Rhodio, para limpieza ver sección 2.3.5 (Cuidado y mantenimiento) numeral 1.

IMPORTANTE: Nunca debe abrirse el cabezal medidor bajo presión.

### Flujómetro.

El flujómetro va montado en la conexión superior del instrumento.

### Salida analógica (uso no previsto).

La salida de la señal analógica esta a la izquierda en el instrumento. Da una señal de voltaje de +/- 10mV/°C (0°C = 0V), la cual se puede graficar por medio de accesorios adecuados (carga mínima 27 KΩ).

### Entrada del gas medidor.

La tubería del gas medidor se conecta al instrumento mediante un acople de cierre Walther. La entrada del gas se encuentra al centro, debajo del cabezal medidor.

### Alimentación del instrumento.

Abajo en el instrumento esta el cable de conexión a la red, fijo.

### Tomacorriente de puente, 8 polos.

En operación normal el tomacorriente de puente debe estar siempre conectado. Para controlar la indicación del punto de rocío se puede conectar cualquier resistencia sustituta seleccionada, entre las resistencia enviadas de fábrica.

### Contacto de presión.

Esta tecla sirve para congelar el espejo, al efectuar el control del instrumento que se describe en la sección 2.3.5, numeral 2.

## **4. Elementos de servicio, lado frontal.**

### Interruptor principal (ON/OFF).

Al oprimir el botón MAINS, se conecta el instrumento (botón iluminado).

### Interruptor MODE (control del espejo/medición).

Con esta tecla se selecciona la forma de operación, medición o control del espejo. Con la tecla suelta, esta conectado el enfriamiento de Peltier y el instrumento

mide el punto de rocío. El indicador permanece en el campo rojo (no dew = no rocío) hasta alcanzar el punto de rocío. Cuando entra a la temperatura de rocío, el indicador se desplaza hacia el campo verde (correcto).

Al oprimir la tecla mode, el instrumento se conecta a MIRROW CHECK (control del espejo). El enfriamiento del Peltier queda entonces interrumpido, y después de limpiar el espejo, el indicador iluminado muestra el estado momentáneo del espejo (contaminated/clean = contaminado/limpio). (limpieza del espejo, ver sección 2.3.5, numeral 1).

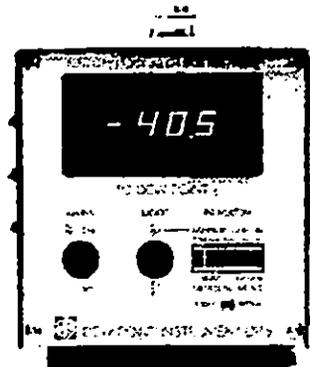


Figura 2.20 Elementos de servicio, lado frontal

### Intensidad de la luz (LIGHT INTEN).

Con este potenciómetro se regula el punto de operación correcto, mediante el cambio de intensidad de la luz. Esto significa que el indicador debe estar en medio del campo rojo, cuando el espejo esta limpio en el modo de operación MIRROW CHECK (control del espejo).

### 2.3.3 Puesta en operación

#### Preparación.

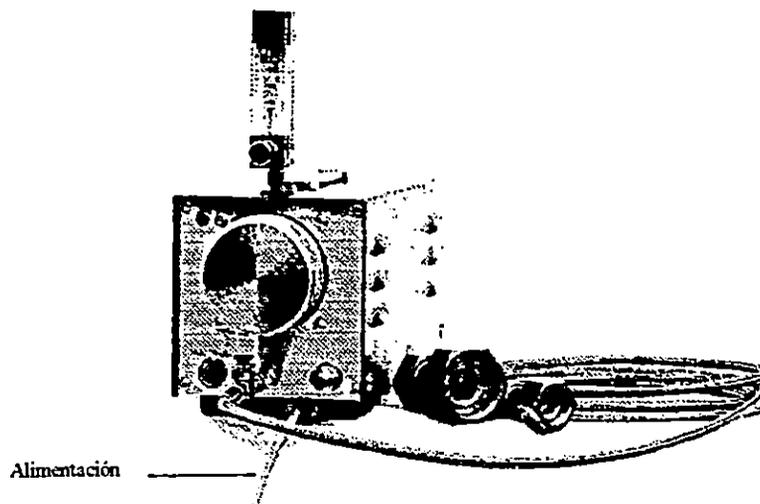


Figura 2.21 Conexión

- a) Montaje de la conducción del gas y el flujómetro. La secuencia correcta es: acoplamiento DILO (sitio de medición) / tubería de medición / válvula de regulación / acoplamiento walther / entrada del instrumento. Ver figura 2.22 sección 2.3.4 (Indicaciones para medir).
- b) Después de una pausa prolongada fuera de servicio, debe condicionarse el instrumento antes de medir. Todas las tuberías y los acoplamientos, que no se guardaron cerrados o se llenaron con gas SF<sub>6</sub>, deben enjuagarse con N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> o SF<sub>6</sub> de botella durante unos 10 minutos (máxima presión 10 Bar = 1 Mpa). Esto se hace abriendo totalmente la válvula del flujómetro y abriendo ligeramente la válvula en la tubería de entrada del gas, hasta alcanzar el caudal requerido (unos 40 lt/h). Los acoplamientos húmedos se pueden secar con un soplador de aire caliente normal.
- c) Antes de la puesta en operación deberá limpiarse el espejo con un pañuelo desechable neutral, no impregnado o con algodón (no usar solventes). Después de volver a colocar la parte delantera del cabezal medidor, la aguja del indicador iluminado debe de estar en medio del campo rojo, con el instrumento conectado y con la tecla MODE oprimida (mirror check = control del espejo). Si es necesario el indicador puede ajustarse con el potenciómetro light inten (intensidad de luz).

## 2.3.4 Indicaciones para medir

### 1. Generalidades.

Esta indicación para medir explica como hacer mediciones de punto de rocío con instrumentos tipo DP9 ABB de la compañía MBW, en instalaciones de conexión y equipos ABB que operan llenos con gas SF<sub>6</sub>.

Este medidor, al contrario de otros instrumentos aceptados para medir humedad no posee ninguna sonda medidora, trabaja según el principio del espejo de punto de rocío y, por tanto, no esta sometido a ningún efecto de envejecimiento que dependa del sistema, así, solo se requiere un control del instrumento antes de medir. La recalibración semestral no se necesita con este tipo de instrumento.

Con estos instrumentos de medición, se introduce a la vez un nuevo procedimiento para medir: la medición bajo presión de operación. Este procedimiento tiene, comparado con la medición bajo presión reducida a 1 Bar, posee las ventajas siguientes:

- a) Medición más exacta (porque la influencia del cambio de presión es esencialmente menor y el valor medido esta en un rango de medición más favorable).
- b) Las indicaciones del punto de rocío específicas de la instalación no son necesarias (a la presión de operación, el punto de rocío es  $TP \leq -6^{\circ}C$  para todas las instalaciones y equipos existentes que funcionan con SF<sub>6</sub>).
- c) El control de los valores medidos es posible sobre la medición a presión reducida.

## 2. Indicaciones para emplear el instrumento.

El instrumento está ajustado para operar a la tensión de la red de 220 V. Para cambiar a otras tensiones de red, ver sección 2.3.2 (Descripción del instrumento), numeral 1.

El instrumento está previsto para una presión máxima de 10 bar. Por tanto no se debe medir con la presión de la botella, en la botella de SF<sub>6</sub>, sino que a presión reducida (indicación  $\leq -40$  °C, punto de rocío).

La presión nunca debe transmitirse violentamente a la cámara de medición, pues podría desajustarse el espejo. Por tanto la manguera debe conectarse solamente cuando la válvula está cerrada. La válvula se abre luego lentamente. Deben usarse las mangueras de medición tan cortas como sea posible. Las mangueras de medición deben mantenerse siempre llenas con SF<sub>6</sub>. Por eso, la válvula de regulación en la manguera de medición debe mantenerse cerrada durante el montaje y el desmontaje del equipo, así como durante el tiempo que no se usa el equipo.

En caso de no usarse las mangueras de medición o el equipo durante un tiempo prolongado, deben secarse mediante enjuague intenso con SF<sub>6</sub> o nitrógeno (por lo menos, durante 10 min.).

Los acoplamientos húmedos deben secarse (secador, aireador caliente, ventilador o soplante).

## 3. Disposición de la conducción del gas.

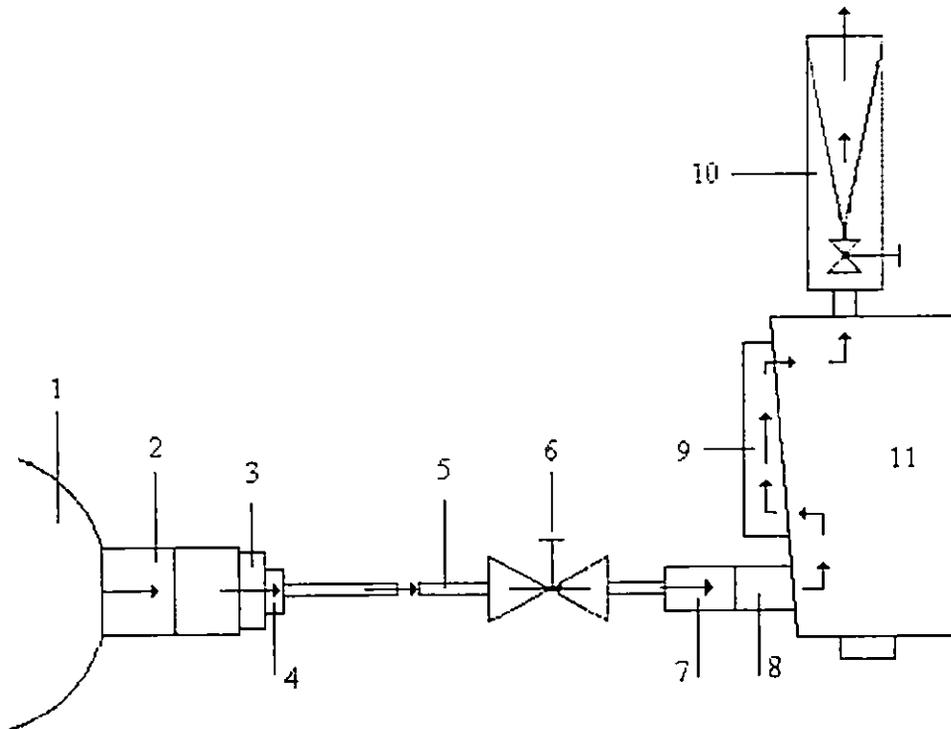


Figura 2.22 Conexión cilindro - máquina

1. Depósito de gas (interruptor, botella, etc.)
2. Acoplamiento DILO (toma de gas de medición)
3. Pieza de transición (adaptador) DILO - SERTO
4. Tuerca SERTO M 10 x 1 (si es necesario, junto con ángulo de dirección)
5. Tubería de gas de medición (manguera PTFE con revestimiento de acero)
6. Válvula de regulación SERTO
7. Acoplamiento de cierre Walther (macho)
8. Acoplamiento de cierre Walther (hembra)
9. Cabezal medidor
10. Flujoímetro con ángulo de dirección
11. Instrumento medidor de punto de rocío DP9/SH BBC

#### **4. Conexión del instrumento.**

- a) Controlar que la cámara de medición este atomillada fijamente. Atomillar el flujoímetro sobre la parte superior del instrumento.
- b) Efectuar la conexión del gas, para ello:
- c) Acoplamiento DILO (numeral 2 de fig. anterior) se conecta en el sitio de medición (al medir con botella de SF<sub>6</sub>, conectar mediante pieza de transición (adaptador).
- d) Acoplamiento de cierre Walther (numeral 7 de fig. anterior) se conecta en el lado de atrás de los instrumentos de medición (gas in = entrada de gas).

#### **5a. Medición a presión de operación (caso normal para presiones de 10 bar).**

- a) Se cierra totalmente la válvula en el flujoímetro (ver numeral 10 de fig. anterior) haciendo girar a la derecha la manecilla.
- b) Válvula de regulación en la manguera de medición (ver numeral 6 de la fig. anterior) se abre totalmente (presión en la tubería de medición y en el instrumento de medición).
- c) Se abre ligeramente la válvula en el flujoímetro (ver numeral 10 de fig. anterior) mediante giro a la izquierda, hasta alcanzar un caudal de aproximadamente 40 lt / h .

#### **5b. Medición a 1 bar (presión disminuida).**

(Para control de medición o a la presión de operación de 10 bar).

- a) Se abre totalmente la válvula en el flujoímetro mediante giro a la izquierda.
- b) La válvula de regulación en la manguera de medición se abre hasta alcanzar un caudal de aproximadamente 40 lt / h .

#### **6. Ejecución de la medición.**

- a) Se efectúa la conexión eléctrica (abastecimiento de corriente), cambio de tensión de la red según sección 2.3.2 (Descripción del instrumento), numeral 1.

- b) Se conecta el instrumento, según sección 2.3.4 (Indicaciones para medir), numeral 4.
- c) Se oprime el interruptor principal (mains), (se enciende la lámpara en la tecla).
- d) Se oprime el interruptor MODE (posición de tecla mirror check = control del espejo, el indicador se ilumina).
  - 1. Controlar que la aguja del indicador esta aproximadamente en el centro del campo rojo. Al haber desviación, ver sección 2.3.5 (Cuidado y mantenimiento), numeral 1.
  - 2. Se toma la temperatura, después de estabilizarse el valor medido, como "temperatura de la instalación", en el protocolo o registro de la medición, si no hay ningún termómetro para medir la temperatura de la habitación.
- e) Interruptor MODE en posición MEASUREMENT (la tecla y el indicador no esta iluminado).

El valor digital indicado se reduce (tiende, pasando por cero, hacia valores negativos) al estabilizarse la indicación se lee directamente el punto de rocío. La indicación del instrumento esta en el campo verde.

Se lee simultáneamente la presión del espacio del gas y se anota en el protocolo o registro de la medición.
- f) Al medir varios espacios con gas, se coloca el instrumento en posición mirror check (control del espejo) entre mediciones individuales (se oprime interruptor MODE). Al hacer mediciones de larga duración debe descongelarse el espejo aproximadamente cada hora, oprimiendo la tecla MODE. Si la aguja del indicador no esta en medio del campo rojo, debe limpiarse el espejo según sección 2.3.5, numeral 1.

**ATENCIÓN:** Con gases muy secos puede haber problemas al medir bajo presión. Esto se reconoce porque la indicación del instrumento presenta una pendulación fuerte y rápida, por ejemplo entre el campo rojo y el verde. El problema surge cuando el gas SF<sub>6</sub> se vuelve liquido sobre el espejo de rocío antes de que ocurra la formación de rocío por el agua (ver anexo 5) en este caso debe efectuarse la medición a la presión reducida de 1 bar (absoluta).

Una vez obtenida la lectura del punto de rocío referirse al anexo 6 para determinar el contenido de humedad del gas. (ppmv)

### **2.3.5 Cuidado y mantenimiento**

#### **1. Limpieza del espejo y reajuste de la intensidad de luz.**

El espejo debe limpiarse periódicamente, a más tardar cuando la aguja del indicador, al oprimir la tecla MODE, esta en el campo verde (contaminado). Como material para la limpieza pueda usarse algodón o un pañuelo desechable. El espejo no debe tratarse en ningún caso con liquido para limpiar anteojos; si es necesario, puede lograrse el efecto deseado con alcohol puro de alto grado. Cuando se necesite limpiar la lámpara y la fotoresistencia (punto 11 del siguiente procedimiento) se usa de preferencia un palillo con algodón, previamente ablandado.

## PROCEDIMIENTO.

- 1) Instrumento en operación (la tecla MODE no esta comprimida , forma de operación MEASUREMENT = medición; aguja del indicador esta en el campo verde, correcto).
- 2) Se oprime la tecla MODE (forma de operación mirror check = control del espejo); el indicador debe estar iluminado.
- 3) La indicación de temperatura sube y la aguja del indicador se mueve hacia el campo rojo, pero se detiene en el campo verde (contaminado).
- 4) Se espera hasta que la indicación de temperatura alcanza aproximadamente la temperatura ambiente. (si la temperatura del espejo, al abrir el cabezal medidor, queda por debajo del punto de rocío de la ambiente, se empaña el espejo).
- 5) Se cierra la tubería de llegada del gas de medición (válvula de regulación).
- 6) Se abre el cabezal medidor.
- 7) Se limpia el espejo.
- 8) Se cierra el cabezal medidor.
- 9) Si la aguja del indicador esta ahora en medio del campo rojo (clean = limpio), la limpieza a concluido. Si queda en el campo verde, se continua con el punto 10.
- 10) Con potenciómetro LIGHT INTEN se coloca el indicador en medio del campo rojo.
- 11) Si no alcanza el rango del potenciómetro LIGTH INTEN para colocar correctamente el indicador, deben limpiarse la lámpara y la fotoresistencia en la parte frontal del medidor de punto de rocío.

**OBSERVACION:** El punto 10 también es válido cuando la aguja del indicador esta en el extremo derecho del campo rojo.

## 2. Control de la indicación del punto de rocío.

Contacto de Presión

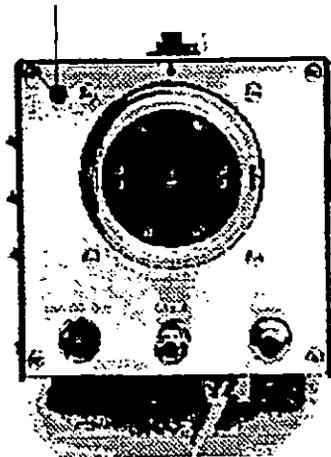


Figura 2.23 Control de medición del punto de rocío

Con esta sencilla prueba se puede constatar la exactitud del instrumento. Esto es importante por si los valores medidos no corresponden a los esperados y se sospecha que existe error en el medidor.

#### PROCEDIMIENTO:

- 1) Las tuberías de llegada del gas en el instrumento se desconectan o se cierra la válvula de regulación.
- 2) Se abre del todo el flujómetro.
- 3) Se abre el cabezal medidor.
- 4) Se conecta el instrumento (mains on), se libera la tecla MODE (measurement = medición).
- 5) Se acciona el contacto de presión de la izquierda hasta que el espejo se enfría a unos  $-25$  a  $-30^{\circ}\text{C}$  (indicación). Entonces la aguja del indicador debe estar completamente a la derecha, en el campo rojo.
- 6) Se le hecha el aliento al espejo, hasta formar una capa de escarcha.
- 7) Se suelta el contacto de presión y se deja que suba la temperatura del espejo.
- 8) Si la temperatura del espejo sube demasiado rápido, puede ocurrir que la indicación de temperatura se retrase un poco. Por eso debe enfriarse de nuevo brevemente, un poco antes de alcanzar el límite de  $0^{\circ}\text{C}$ .
- 9) El espejo y la indicación de temperatura deben observarse bien. A  $0^{\circ}\text{C}$  la capa de escarcha debe convertirse en agua.
- 10) Si esto ocurre, el instrumento está en orden.

El control de la exactitud a  $0^{\circ}\text{C}$ , mediante congelamiento del espejo y dejar subir la temperatura hasta la transformación de la capa de escarcha en agua, es un método físico considerado inobjetable. Sin embargo a veces es deseable controlar la indicación del punto de rocío también para otros valores de temperatura. Como los valores distintos de  $0^{\circ}\text{C}$  físicamente solo se pueden producir en laboratorio, se considera aceptable el control de campo, simulando esos valores por medio de resistencias sustitutas (dummies).

Los valores de interés para medir la humedad del SF6 están a  $+15$ ,  $+5$ ,  $-15$ ,  $-27$  y  $-40^{\circ}\text{C}$ . A esos valores corresponden también las 5 resistencias sustitutas entregadas de fábrica con el equipo.

#### PROCEDIMIENTO:

- 1) Se saca el tomacorriente de puente, que está enchufado en la parte posterior del instrumento, en la caja tomacorriente respectiva.
- 2) Correspondiendo a la temperatura deseada, se escoge una de las resistencias sustitutas y se enchufa en lugar del tomacorriente de puente. La indicación del medidor de punto de rocío debe entonces cambiar al valor seleccionado. Si esto ocurre, el instrumento está en orden.
- 3) Después de efectuar el control, debe sacarse la resistencia sustituta y se vuelve a enchufar el tomacorriente de puente.

**IMPORTANTE:** Este control es independiente de la forma de operación elegida y se puede efectuar tanto durante la medición como al controlar el espejo.

Algunas causas de error y las medidas que se deben tomar para solventarlas se listan en el anexo 7.

## 2.4 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

- Para el fácil manejo del TM1600/MA61 es recomendable adaptarle un teclado PC/XT.
- Se recomienda adquirir los transductores señalados en el capítulo 2. sección 1, para así garantizar un mejor mantenimiento preventivo para los interruptores SF6
- Para una mejor comprensión de los resultados del análisis de un interruptor, es recomendable utilizar el formato de impresión número 1, ya que este se puede observar con mayor detalle los resultados obtenidos.
- Se recomienda purgar con SF6 o nitrógeno todas las mangueras a ser conectadas entre el interruptor y el reciclador.
- Se recomienda antes de la utilización del reciclador, verificar que el nivel de aceite de la bomba de vacío y del compresor sea el adecuado.
- Se recomienda para el reciclador utilizar únicamente el aceite, refrigerante, desecante, etc. especificados por el fabricante.
- Si se hacen análisis a varios interruptores es recomendable utilizar el equipo de fibra óptica, logrando con esto un fácil y rápido acceso a los interruptores, evitando así, la necesidad de mover todo el TM1600/MA61 de un interruptor a otro.
- Se recomienda, cuando se trabaje con la analizadora de humedad utilizar exclusivamente la manguera con revestimiento de acero proporcionada con el equipo, ya que al usar otra puede conducir a lecturas erróneas.
- Se debe tener el cuidado, cuando se trabaje con la analizadora de humedad, de mantener cerradas las válvulas SERTO ubicadas en los extremos de las mangueras con revestimiento de acero para evitar la contaminación dentro de ella

## 2.5 CONCLUSIONES.

- La continuidad en el suministro de potencia depende en gran medida del buen funcionamiento de sus componente, particularmente de los interruptores de potencia, y para garantizarlo es necesario efectuar un mantenimiento preventivo confiable, para ello es conveniente auxiliarse de equipo especializado como por ejemplo el TM1600/MA61, Recicladora PET2015A, Analizadora MPW DP9.
- La calidad del ciclo de purificación depende del buen estado de sus componentes, por ejemplo filtros, desecante, alumina, soda cálcica, etc.
- EL uso de la recicladora conlleva a minimizar los costos de mantenimiento, ya que cuando el gas esta contaminado no es necesario sustituirlo, si se utiliza esta máquina.
- Los resultados obtenidos en las pruebas hechas con el TM1600/MA61 son sumamente útiles para el ajuste o sincronización de los polos del interruptor.

## 2.6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

R. User's Guide Breaker Analyzer TM1600/MA61.

R. Operating & Maintenance Instructions Sf6 Reclarimer Model No. PET-15A.

R. MBW Taupunktmessgeraet Sf6 Modell DP9

R.Diccionario Enciclopédico de Términos Técnicos. Primera Ed. 1980. L.  
Collazo.Javier.

## CAPITULO III

### SIMULACIÓN DE FALLAS.

#### INTRODUCCIÓN.

El actual crecimiento de consumo de energía eléctrica tanto a nivel de pequeños consumidores, comercial y sobre todo industrial, exige confiabilidad en el suministro de potencia. En este sentido los Ingenieros electricistas deben profundizar en el estudio de fallas y para ello se ha visto la necesidad de valerse de herramientas de simulación que permitan diseñar de mejor manera los dispositivos de protección.

Considerando esta necesidad en este capítulo se hace una descripción general de las fallas más frecuentes en los sistemas de potencia.

El análisis de éstas se logra por medio del software de simulación ATP (Alternative Transient Program), el cual permite estudiar el comportamiento ante fallas de los interruptores de potencia, que son el objeto de nuestro estudio.

Los fenómenos que se describen son:

- Cierres asíncronos.
- Falla simple de línea a tierra.
- Falla de dos fases a tierra.
- Falla de tres fases a tierra.

### 3.1 MARCO TEORICO.

Los sistemas modernos de corriente alterna constan generalmente de los siguientes elementos:

- 1- Centrales generadoras,
- 2- Estaciones transformadoras elevadoras
- 3- Líneas de transmisión
- 4- Estaciones de maniobra
- 5- Estaciones transformadoras reductoras
- 6- Líneas o redes primarias de distribución
- 7- Bancos transformadores de servicio
- 8- Líneas o redes secundarias.

Esencialmente los elementos 2, 3, 4 y 5 constituyen el sistema de transmisión, y los demás elementos 6, 7 y 8 constituyen el sistema de distribución. La diferencia entre el sistema de transmisión y el de distribución radica en su función. La función del sistema de transmisión es el transporte de grandes potencias a los centros de carga y a los grandes consumidores industriales que sobrepasan los límites de corriente y económicos de las líneas primarias de distribución. La función del sistema de distribución es el suministro de energía desde las estaciones generadoras o desde las subestaciones del sistema de transmisión hasta los abonados.

Cualquier red eléctrica de la que se hable estará expuesta a experimentar modificaciones en su estado normal de operación, es decir, está expuesta a sufrir fallas.

Las fallas a las que nos referimos son básicamente la presencia de sobrecorrientes y sobrevoltajes.

Las modificaciones de estado de las redes pueden ser ocasionadas por:

- Fallas a tierra
- Cortocircuitos
- Conexión de equipos de operación tales como:
  1. Resistencias (Sobrecargas)
  2. Capacitancias (Líneas, condensadores)
  3. Inductancias (Transformadores, máquinas eléctricas, etc.)

En este capítulo se pretende analizar algunos sobrevoltajes y sobrecorrientes debido a fallas, en tal sentido procederemos a definir sobrevoltaje y mostrar una clasificación de estos.

**Sobrevoltaje:** Por sobrevoltaje entenderemos todo aquel voltaje cuya magnitud excede al voltaje máximo de operación permisible, que haga peligrar el funcionamiento de un equipo eléctrico o causar daños físicos al mismo.

**Clasificación de sobrevoltajes:** Estos pueden clasificarse en dos grandes grupos.

<b>Sobrevoltajes de origen externo</b>	<b>Sobrevoltajes do origen interno</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobrevoltajes transitorios debidos a descargas</li> <li>• Sobrevoltajes debidos a causas naturales o imprevistas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobrevoltajes permanentes de baja frecuencia, debidos a desequilibrios en las redes.</li> <li>• Sobrevoltajes transitorios de alta frecuencia, debidos a la operacion de interruptores.</li> </ul>

### 3.1.1. Sobrevoltajes de origen externo

#### A. Debidos a descargas eléctricas atmosféricas.

Las descargas eléctricas atmosféricas son causa de sobrevoltajes en las redes eléctricas. Existen varias teorías para explicar la acumulación de cargas eléctricas en las nubes. De acuerdo con una de ellas, las gotas de agua existentes en una nube, bajo la acción de una corriente ascendente de aire frío, empiezan a congelarse y aparece una diferencia de potencial entre las gotas de agua y los cristales de hielo; las gotas de agua quedan cargadas positivamente y son arrastradas por la corriente ascendente de aire a la parte superior de la nube. Las gotas que se han congelado y acumulado forman cristales de hielo más pesados que tienen una carga negativa, descienden a la parte inferior de la nube, induciendo una carga positiva en la tierra, el gradiente de potencial producido por ésta carga es generalmente bajo, excepto cuando existen protuberancias como edificios altos, etc. En cambio los gradientes de potencial en la nube, debido a la carga eléctrica negativa acumulada en la parte inferior, pueden ser muy altos y alcanzar un valor capaz de iniciar una descarga a través del aire, de intensidad relativamente baja y de polaridad negativa. Cuando está descarga alcanza la tierra se produce una corriente; de gran intensidad y de polaridad positiva que circula en sentido inverso, de la tierra a la nube. Este proceso se ilustra en la figura 3.1.

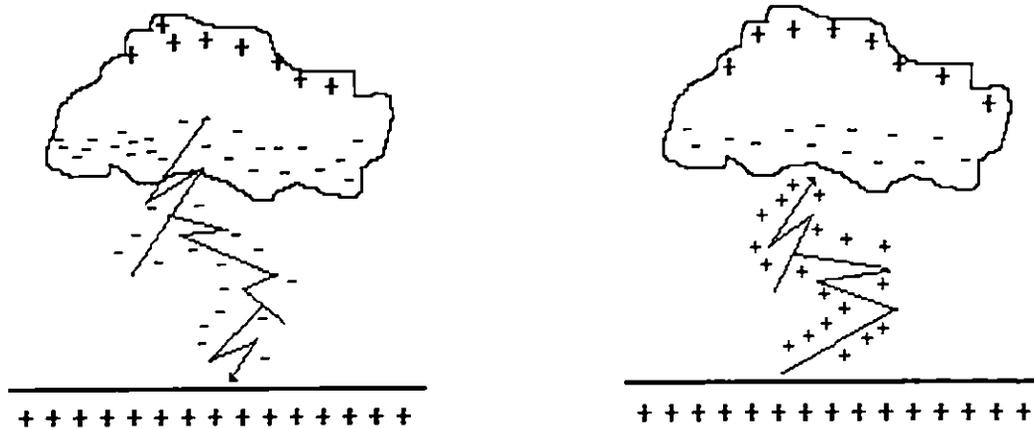


Figura 3.1 Proceso de la descarga de un rayo

En la próxima figura 3.2 se muestra la forma típica de una onda de corriente debido a un rayo. El tiempo en que alcanza el valor de cresta es del orden de 1 a 10  $\mu\text{s}$  y decae a un valor de la mitad del valor de cresta en unos 10 a 100  $\mu\text{s}$ . El valor de cresta puede ser en el orden de unos 100,000 amperes.

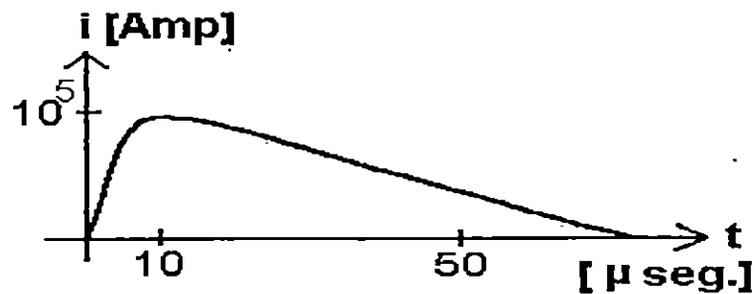


Figura 3.2 Forma típica de una onda de corriente debida a un rayo.

Los sobrevoltajes que aparecen en las líneas de transmisión debidos a descargas atmosféricas, pueden producirse en dos formas: por inducción electrostática o por descarga directa sobre las torres, los cables de guarda o los conductores de la línea.

En el primer caso el sobrevoltaje se produce de la siguiente forma: la carga eléctrica de una nube que se encuentra sobre una línea de transmisión, induce en los conductores

de ésta una carga de polaridad contraria, la cual se va acumulando gradualmente en los conductores debido al paso de corriente de fuga por la superficie de los aisladores; si se produce un rayo de la nube a tierra o a otra nube, la carga eléctrica de la nube desaparece bruscamente y deja en libertad la carga eléctrica que se acumula en los conductores, la cual se propaga a lo largo de la línea en forma de ondas viajeras.

Las descargas directas de rayos sobre las líneas producen sobrevoltajes mucho más elevados que los inducidos y son una de las principales causas de interrupción en las líneas.

Los sobrevoltajes producidos por las descargas de rayos son impulsos unidireccionales de muy corta duración (decenas de  $\mu\text{s}$ ), con un frente escarpado y una cola de disminución más lenta. Se estima que el 70% o más de las descargas atmosféricas tienen una magnitud de cresta igual a, o mayor que 2MV. Se ha registrado un valor máximo de 20MV.

#### **B. Debido a causas naturales o imprevistas.**

En éstas se incluyen aquellas fallas que están fuera del alcance del hombre como por ejemplo:

- Caída a tierra de una o más fases debido al contacto con algún objeto extraño a la línea.
- Contacto entre fases ocasionado por vientos.
- Movimientos telúricos, etc.

#### **3.1.2 Sobrevoltajes de origen interno**

Este tipo de sobrevoltajes se presentan únicamente al existir un cambio en el régimen de operación de la red eléctrica, es decir, en el caso de acción de interruptores o en el caso de fallas; se incluyen las elevaciones transitorias de voltajes y con frecuencia de operación, tales como las que aparecen en las terminales de líneas largas trabajando en vacío o como las que se experimentan al quitar carga.

Los sobrevoltajes se originan debido a fenómenos de compensación entre los dos estados de operación. Si el cambio se hiciese con interruptores ideales, el fenómeno no sería de importancia, pues se podría calcular con anticipación. Pero como la conexión o desconexión y a veces también el fenómeno de falla se suceden a través de arcos, puede originarse reencendidos e interrupciones, mediante las cuales a su vez originan nuevos fenómenos compensatorios.

La carga y descarga alternativa de condensadores o la interrupción de corrientes en las inductancias en el momento en que la corriente alterna no tiene precisamente un valor nulo, pueden dar origen a sobrevoltajes muy elevados. Es por esto que el diseño de interruptores no sólo requiere la consideración de la corriente a interrumpir, sino los sobrevoltajes a manejar en tales condiciones, cabe mencionar que el sobrevoltaje más

frecuente en sistemas de potencia es el que ocurre como consecuencia de una falla a tierra.

#### **A. Sobrevoltajes de alta frecuencia provocados por la operación de interruptores.**

En general puede decirse que cada operación de un interruptor, es decir, el paso de un estado estable a otro, también estable, está acompañado de fenómenos que pueden ser peligrosos para el aislamiento de una instalación.

La alta frecuencia de éstos sobrevoltajes oscila entre 400 y 3000 Hz, logrando amortiguarse en un tiempo de aproximadamente 1000 microsegundos.

La amplitud de las oscilaciones depende, entre otros factores, del voltaje de operación del sistema, pudiendo alcanzar estos valores del orden de 3 y 3.5 veces el voltaje nominal de operación.

#### **B. Sobrevoltajes debidos a fallas en sistemas de potencia.**

Las fallas ocurren en sistemas de potencia debido a que el aislamiento en el punto de falla es momentáneamente sometido a esfuerzos voltáicos excesivos para su rigidez dieléctrica.

Además de las fallas provocadas por fenómenos atmosféricos, son muy frecuentes las fallas causadas por procesos de conexión y desconexión, así como las debidas a fallas mecánicas de los aislamientos.

Para su estudio es conveniente hacer uso de circuitos equivalentes que representen la red, estando formados éstos circuitos por resistencias, inductancias y capacitancias lineales. Para su análisis se considera el circuito normalmente energizado y tomando carga hasta que la falla ocurre. La falla se asemejara al cierre de un interruptor. Esto provocará cambios en el circuito, de tal manera que se logra una nueva distribución de corrientes y voltajes. Esta redistribución estará acompañada en general por un período transitorio durante el cual las corrientes y los voltajes serán momentáneamente muy altos.

Hay tres componentes de voltaje en tales circuitos lineales, si la falla es por el accionar de interruptores:

- a) Voltaje de frecuencia fundamental
- b) Voltaje de frecuencia natural, que son usualmente de corta duración y que se superponen a los voltajes de frecuencia fundamental.
- c) Voltajes armónicos, resultan de corrientes desbalanceadas en máquinas rotatorias.

Los voltajes de frecuencia natural se manifiestan inmediatamente después de ocurrir una falla y éstos simplemente se suman al voltaje de frecuencia fundamental.

Frecuencia fundamental implica ausencia de transitorios.

No se puede dibujar curvas que describan éstos voltajes transitorios para un caso general y en términos de la impedancia del sistema, vista desde el punto de falla, tal como se puede hacer para los voltajes de frecuencia fundamental, los voltajes transitorios son afectados por el número, forma de conexión y arreglo de circuitos.

La frecuencia natural de oscilación varía según el tipo de circuito. Es alta para circuitos de voltajes bajos pudiendo en ellos alcanzar valores hasta de 3000 Hz, y es baja para circuitos de alto voltaje, alcanzando en éstos, valores hasta de 400 Hz

La frecuencia natural de un sistema determina la velocidad de recuperación de voltaje cuando un arco se interrumpe. La velocidad de recuperación es un parámetro muy importante en el funcionamiento de ciertos tipos de interruptores de potencia.

Puede para efectos de cálculo usarse una velocidad media de recuperación de voltaje:

$$dv/dt = 2 SE f_0 \sqrt{2} \left( \frac{Kv \max}{Seg} \right)$$

donde :  $\sqrt{2} SE$  es el voltaje máximo  
 $f_0$  es el tiempo para un medio ciclo

En general un dispositivo de protección contra sobrevoltaje debe actuar de tal manera que limite el voltaje transitorio a un valor menor que el de la rigidez dieléctrica del aislamiento a ser protegido.

Las posibles causas del debilitamiento del aislante en las líneas pueden ser:

- Disminución de la separación entre cables conductores, entre sí o con tierra, debido a:
  - Deficiencia en el montaje.
  - Esfuerzos mecánicos.
- Disminución de la resistencia a impulsos de las partes aislantes, tanto líquidos como sólidos, esto es debido a:
  - Mala fabricación o montaje.
  - Influencias atmosféricas.
  - Mala operación del equipo.
  - Envejecimiento de material.

Existen sobrevoltajes que exigen un buen grado de aislamiento, los cuales son causados por:

- Influencias extrañas provocadas por tormentas eléctricas.
- Influencias eléctricas extrañas provenientes de redes de mayor voltaje.
- Sobrevoltajes de origen interno.

Mediante las pérdidas por desviación de corriente a tierra, la tensión sube en la fase que falla aproximadamente a unas cuatro veces el valor de tensión de fase, y en las que no han fallado a casi 4 o 5 veces ese valor.

### C. Sobrevoltajes causados por cortocircuitos .

Los fallos en los sistemas pueden consistir en cortocircuitos asimétricos, fallos a través de impedancias, o conductores abiertos. El camino de la corriente de fallo puede o no tener impedancia y de acuerdo a su gravedad se clasifican de la siguiente forma:

- Fallas de línea a tierra
- Fallas de línea a línea
- Fallas de doble línea a tierra
- Fallas simétricas trifásicas o balanceadas.

Estas fallas se ilustran en la figura 3.3.

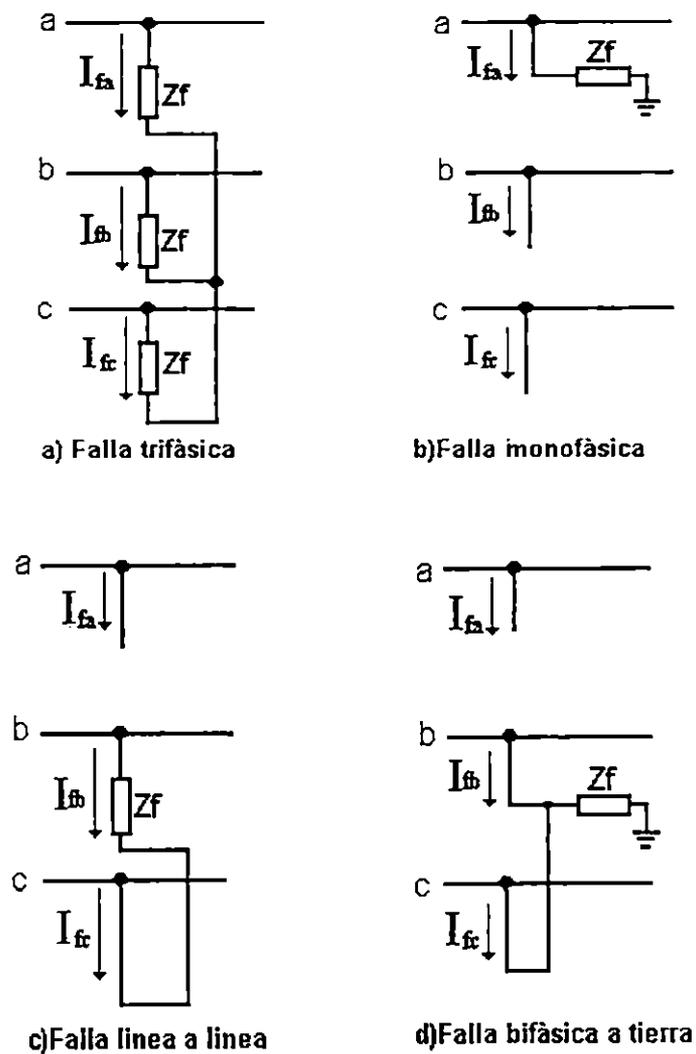


Figura 3.3 Esquemas de los distintos tipos de falla

Todo cortocircuito debido a una falla en algún punto origina un cambio en la corriente y voltaje del sistema y los nuevos valores dependerán del lugar, del tipo de falla y de las características del sistema.

Los sobrevoltajes que se deben a cortocircuitos tendrán dos componentes, una de frecuencia fundamental (usualmente es de 60 Hz) y una componente igual a la frecuencia natural del sistema que se amortigua en milisegundos.

La magnitud de los voltajes de frecuencia fundamental dependen del tipo de falla. Si el cortocircuito es monofásico o bifásico a tierra puede causar sobrevoltajes a tierra en las fases que no fallan.

#### **D. Sobrevoltajes causados por apertura de conductores.**

En los sistemas eléctricos trifásicos de alta tensión, la rotura (por esfuerzos mecánicos u otros factores) de un conductor o conductores de línea origina sobrevoltajes los cuales pueden dañar el equipo por no actuar en forma correcta las protecciones. La apertura de un conductor es equivalente a la apertura de un interruptor, especialmente si es monofásico o a la de un recloser de aceite. El intervalo entre el cierre y la apertura de las primeras y las últimas fases puede variar ampliamente, dependiendo del tipo de interruptor y de que el sistema esté siendo energizado o desenergizado.

El fenómeno en discusión puede estar asociado con cualquier dispositivo interruptor que tenga características tales que el intervalo de tiempo entre la apertura y el cierre de las primeras y últimas fases es lo suficientemente largo para permitir condiciones de voltaje de régimen permanente.

#### **E. Efecto de fases abiertas acompañadas de cortocircuitos:**

Al romperse un conductor de línea y caer un extremo a tierra; se manifiestan dos tipos de fallas diferentes, las cuales son un circuito abierto y una falla a tierra de una fase. El análisis de este caso combinado puede hacerse mediante el uso de las componentes simétricas; pero el análisis rara vez vale la pena hacerlo, puesto que las condiciones de falla a tierra usualmente predominan accionando las protecciones que a la vez alivian la situación causada por el circuito abierto.

Fase abierta sin presencia de cortocircuito puede originarse por la quema de un fusible o por contacto defectuoso de un interruptor; o puede darse ésta condición solo por corto lapso debido a la conmutación monofásica.

#### **F. Sobrevoltajes de frecuencia fundamental debidos a desequilibrios en las redes.**

Toda red eléctrica de potencia en funcionamiento normal es un sistema trifásico, simétrico, equilibrado, puede pues reducirse para su estudio a un sistema monofásico

equivalente.

Pero al aparecer un desequilibrio en el sistema, no podría simplificarse el estudio, la causa puede ser por falta de simetría en la configuración, lo cual se puede observar:

- a) En casos de un cortocircuito monofásico o bifásico a tierra.
- b) Cuando hay cortocircuito en dos fases.
- c) Al abrir una o dos fases.
- d) Cuando hay una carga conectada desequilibrada o por falta de equilibrio entre las fuerzas electromotrices aplicadas, este último caso no es frecuente.

En desequilibrio, la caída de voltaje en cada fase viene dada por el producto de la corriente que circula por el conductor y la impedancia propia del conductor, más los productos de las corrientes de los otros conductores por las impedancias mutuas correspondientes.

Si existe un conductor neutro o si el neutro del sistema está conectado a tierra de manera que pueda circular una corriente resultante del desequilibrio de las corrientes de fase, deberá considerarse también, para el cálculo de la caída de voltaje, el producto de ésta corriente por la impedancia mutua entre el circuito del neutro (tierra) y el conductor correspondiente.

Existe un procedimiento que ayuda a resolver un sistema trifásico desequilibrado y que se basa en la sustitución del sistema trifásico en desequilibrio por 3 sistemas trifásicos equilibrados, que combinados en forma adecuada equivalen al primero, para ello se usa el principio de superposición.

El método mencionado recibe el nombre de **componentes simétricas**, donde un sistema desequilibrado de  $n$  vectores relacionados entre sí, pueden descomponerse en sistemas de vectores equilibrados denominados **componentes simétricos** de los vectores originales. Los  $n$  vectores de cada conjunto de componentes son de igual longitud, siendo también iguales los ángulos formados por vectores adyacentes. Este método es aplicable a cualquier sistema polifásico desequilibrado, sin embargo es de nuestro interés los sistemas trifásicos.

Según el teorema, tres vectores desequilibrados de un sistema trifásico pueden descomponerse en tres sistemas equilibrados de vectores. Los conjuntos equilibrados de componentes son:

- **Componentes de secuencia positiva**, formados por tres vectores de igual módulo, con diferencias de fase de  $120^\circ$  y con la misma secuencia de fases que los vectores originales.
- **Componentes de secuencia negativa**, formados por tres vectores de igual módulo, con diferencia de fases de  $120^\circ$  y con la secuencia de fases opuestas a la de los vectores originales.
- **Componentes de secuencia cero**, formados por tres vectores de igual módulo y con una diferencia de fase nula.

Cuando se resuelve un sistema por componentes simétricos se asignan a las tres

fases del sistema las letras *a*, *b* y *c*, de tal forma, que la secuencia de fases de los voltajes y corrientes en el sistema sea *abc*. Por tanto, la secuencia de fases de los componentes de secuencia positiva de los vectores desequilibrados, es *abc* y de los componentes de secuencia negativa, *acb*. Los tres conjuntos de componentes simétricos se designan con el subíndice adicional 1 para los componentes de secuencia positiva, 2 para los componentes de secuencia negativa y 0 para los componentes de secuencia cero. La figura 3.4 muestra los tres conjuntos de componentes simétricos.

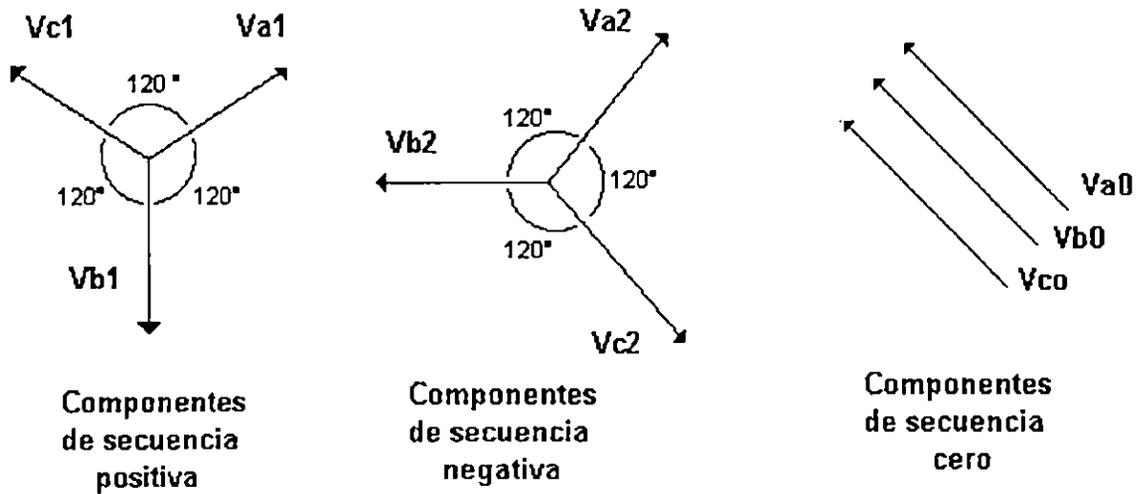


Figura 3.4 Conjunto de componentes simétricos

Como cada uno de los vectores desequilibrados originales es igual a la suma de sus componentes, los vectores originales expresados en función de sus componentes son:

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\ V_b &= V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \\ V_c &= V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \end{aligned}$$

Es conveniente, por los desplazamientos de fase de los componentes simétricos de los voltajes y las corrientes en sistema trifásico, disponer de un método para indicar la rotación de un vector  $120^\circ$ . El resultado de multiplicar dos números complejos, es igual al producto de sus módulos y a la suma de sus ángulos, si el número complejo que representa a un vector, se multiplica por un número complejo de módulo unidad y ángulo  $\theta$ , el número complejo resultante representa a un vector igual al original, pero desplazado un ángulo  $\theta$ .

El número complejo de módulo unidad y argumento  $\theta$  es un operador que gira, al vector que se aplica un ángulo  $\theta$ .

La letra "a" se utiliza normalmente para designar al operador que origina una rotación de 120° en sentido contrario al movimiento de la agujas del reloj. Tal operador viene definido por las expresiones siguientes:

$$a = 1 \angle 120^\circ = \cos 120^\circ + j \sin 120^\circ = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{j120^\circ}$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0.5 - j0.866$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1$$

## 3.2 SIMULACIÓN POR MEDIO DE ATP

### 3.2.1. Una visión global del programa ATP (EMTP).

Debido al crecimiento de las redes eléctricas tanto en transmisión como distribución de energía eléctrica surge la necesidad de una herramienta para el análisis de los cada vez más grandes y complejos sistemas de redes eléctricas, es entonces que surge en la Bonneville Power Administration durante los años 70's el programa EMTP, Electromagnetic Transients Program como respuesta a ésta necesidad.

EMTP hace énfasis en la simulación en el dominio del tiempo del comportamiento de las redes eléctricas después de una transición, como por ejemplo una falla, una conexión, etc. Lo anterior no quiere decir que se haya dejado de lado el análisis en el dominio de la frecuencia, sino que la mayor parte del esfuerzo se dirige a la respuesta en el tiempo.

Para responder a la amplia gama de posibilidades de sistemas, fue conveniente incluir dispositivos de electrónica de potencia, sistemas de control automático, análisis de las líneas de transmisión y distribución, sistemas de transmisión en DC, etc.

ATP (Alternative Transient Program), es la versión de EMTP más ampliamente usada en la actualidad, está escrito en FORTRAN, por lo que todas sus estructuras de datos corresponden a este formato. Sin embargo, con el paquete son proporcionados programas de graficación, uno de ellos escrito en PASCAL. ATP puede configurarse a fin de que produzca archivos de salida de gráficos en formato C.

ATP está también ahora disponible para ser utilizado en ambiente Windows, lo cual permite ser manejado con mayor facilidad.

### 3.2.2 Capacidad de ATP.

Este programa se utiliza para simular transitorios de redes eléctricas de potencia asociadas a la interconexión de los siguientes componentes:

- Inductores.
- Resistores.
- Capacitores.
- Líneas de transmisión polifásicas de parámetros distribuidos, ya sea de parámetros constantes o dependientes de la frecuencia.
- Resistores no lineales con características V-I univaluada.
- Inductores no lineales, con características univaluada o con histéresis y flujo residual.
- Resistores variables con el tiempo.
- Interruptores, que simulan interruptores de circuito, entrehierros parachispas, cualquier otro tipo de cambio de conexión con la red. Se incluyen diodos y tiristores.
- Fuentes de voltaje y de corriente; además de las funciones matemáticas típicas (senoidal, rampa, escalón e impulso) el usuario puede especificar fuentes punto a punto como funciones del tiempo, o por medio de instrucciones en FORTRAN, o usando los modelos de controladores de sistemas.
- Máquinas eléctricas dinámicas rotativas, tales como máquinas síncronas y de inducción. Estas máquinas pueden ser conectadas a los modelos de controladores de sistemas.
- Sistemas dinámicos de control; se pueden incluir operaciones no lineales y lógicas. Las entradas y salidas de estos sistemas pueden conectarse con la red, lo que proporciona capacidades de computador híbrido.

Como resultado del análisis ATP proporciona a la salida variables como por ejemplo: corrientes de rama, voltajes, potencia, torques, velocidades de máquinas, etc. como función del tiempo.

Las condiciones iniciales de varios componentes pueden ser automáticamente determinadas por el programa, o especificadas por el usuario. Los modelos de sistemas de control permiten la superposición de soluciones fasoriales lineales de diferentes frecuencias.

### 3.2.3 Breve descripción del procedimiento de simulación.

Básicamente para efectuar la simulación necesitamos trabajar en 3 etapas:

- 1) Dibujar el circuito (*\*.cir*) que se quiere analizar en *WATPDRAW*, éste está en ambiente Windows, en ésta parte se definen los parámetros de cada uno de los componentes del circuito, así como también se especifica que variable se quiere medir en determinado elemento (voltaje, corriente, potencia).

En la figura 3.5 se muestra la ventana principal de *WATPDRAW*.

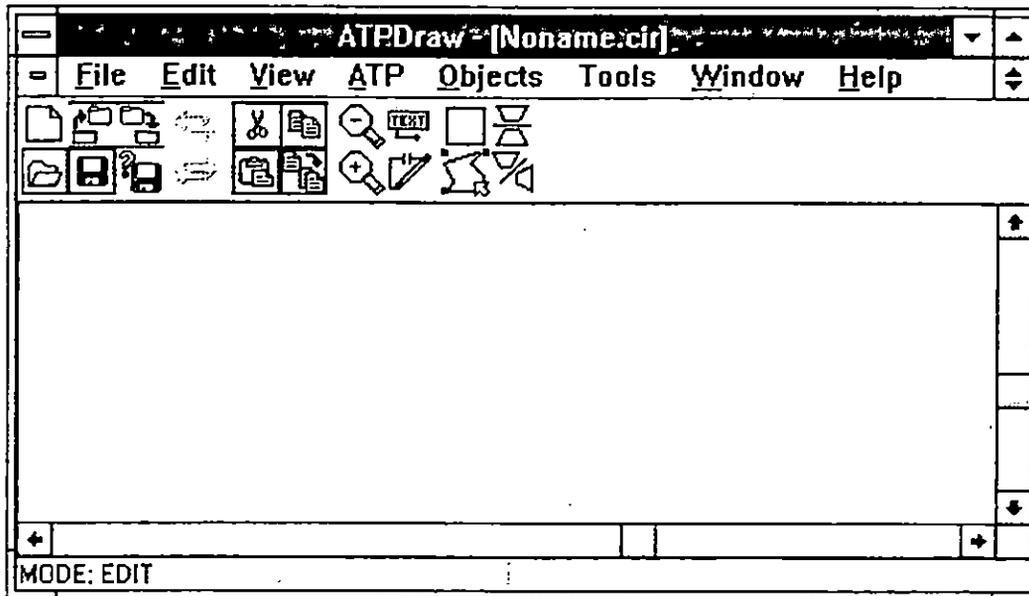


Figura 3.5 Ventana principal de WATDRAW

Posteriormente de tener el dibujo es necesario generar un archivo que contenga el nombre de los nodos del circuito (\*.atp) para poder utilizarlo en la simulación propiamente dicha. Para lograr lo anterior seleccionamos del menú principal: ATP + Make File...

- 2) Después de tener el archivo \*.atp debemos salir de la ventana de *WATPDRAW* para hacer la simulación en *ATP*, esto lo logramos accedendo el icono correspondiente, el cual nos lleva a la ventana siguiente, figura 3.6

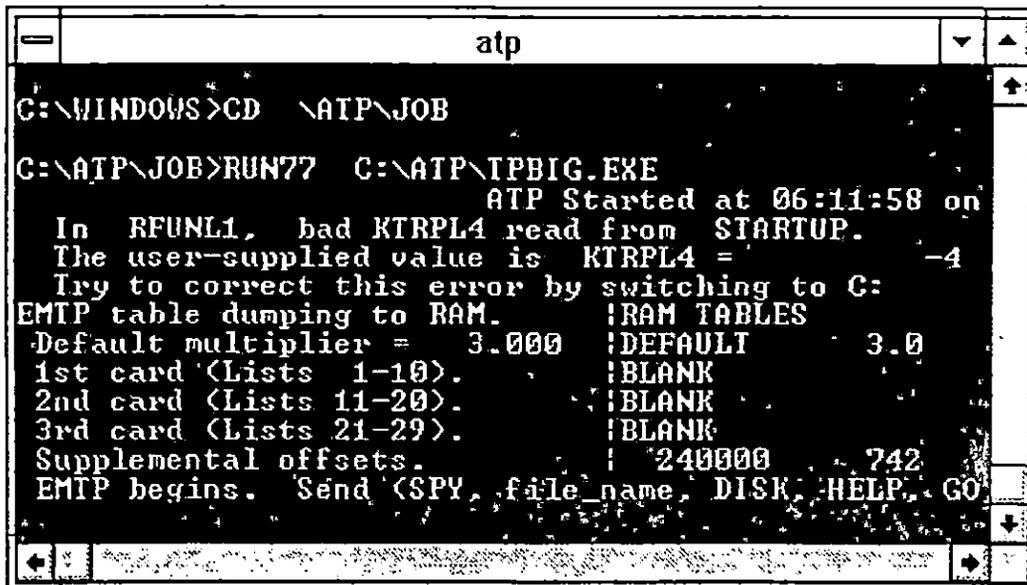


Figura 3.6 Ventana de WATDRAW para la simulación en ATP

Ya dentro de este ambiente procedemos a digitar el nombre del archivo (\*.atp) para generar otro archivo (\*.pl4) que contiene la información necesaria para generar una salida gráfica posteriormente.

Para salir del simulador *ATP* digitamos en la línea de comando *STOP*. Si deseamos obtener un archivo de datos en código ASCII digitamos *BOTH* antes de escribir el nombre del archivo \*. atp. Generar un archivo en ASCII nos da la oportunidad de poder generar la gráfica en otro tipo de software como por ejemplo *EXCEL*.

- 3) La salida gráfica es importante ya que ofrece una muy buena manera de interpretar fácilmente la información, ésta es usualmente vista e impresa en *PCPLOT*.

### 3.2.4 APLICACIONES.

#### A. Aspectos generales.

1. Aunque se tienen datos de la mayoría de líneas de transmisión de la red nacional, para efectos de estudio, se ha tomado un tramo en particular: La línea que va de la presa 5 de Noviembre a la presa Cerrón Grande.
2. El sistema utilizado en la simulación es desbalanceado en todos los casos de falla, por lo tanto en la impedancia de línea se toma en cuenta las impedancias de secuencia.
3. Para simular las fallas se ha hecho uso de interruptores trifásicos como medio de conexión entre la línea y tierra. Este componente del software *ATP* permite manipular su tiempo de cierre y apertura.
4. La salida gráfica obtenida del simulador será una respuesta en el tiempo.
5. Los circuitos que se analizan operarán en vacío, ya que ante una falla la corriente y voltajes transitorios que se dan en la línea son proporcionales al caso que se trabaje con carga.

## B. Descripción de parámetros.

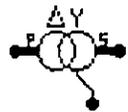
Los parámetros para cada elemento del circuito que se utilizarán son:

- **En la fuente de voltaje:**  
Amplitud: 13.8 Kv  
Frecuencia: 60 Hz  
Fases: 3
- **En el transformador:**  
Fases: 3  
Tipo de conexión: Delta - Estrella.  
Nivel de voltaje: 13.8/115kv.
- **En el interruptor:**  
Tipo: Trifásico.  
Tiempo de cierre y apertura programado para cada fase.
- **Línea de transmisión.**  
Impedancia de secuencia positiva:  $2.43340 + j8.67560$   
Impedancia de secuencia cero:  $6.29510 + j26.62193$

## C. Simbología utilizada en la simulación (ATP).



: Fuente de Voltaje Trifásica



: Transformador Trifásico



: Interruptor controlado.



: Impedancia de línea ( de secuencia )

#### D. SIMULACIÓN 1. Switcheos Asíncronos.

Esta simulación demuestra el fenómeno transitorio de elevación de corriente y voltaje que se da en los contactos del interruptor al no haber simultaneidad en el cierre o la apertura de éstos.

El circuito y las gráficas de dicho fenómeno se muestra a continuación.

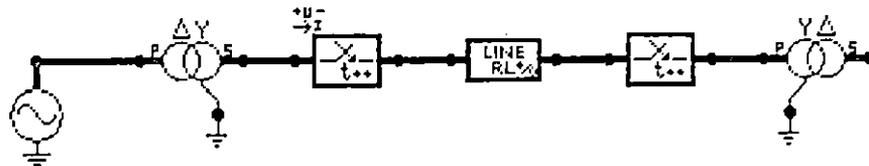


Figura 3.7 Circuito del tramo de red utilizado para la simulación

##### a) Gráfica de la corriente

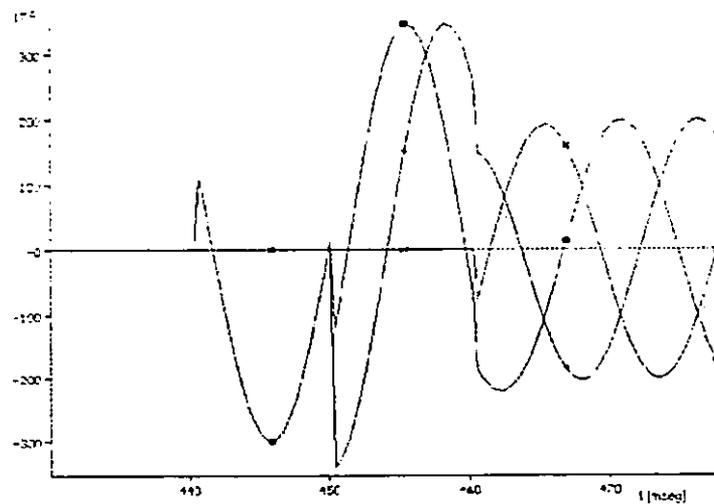


Figura 3.8 Corriente en un cierre asíncrono

b) Gráfica de voltaje

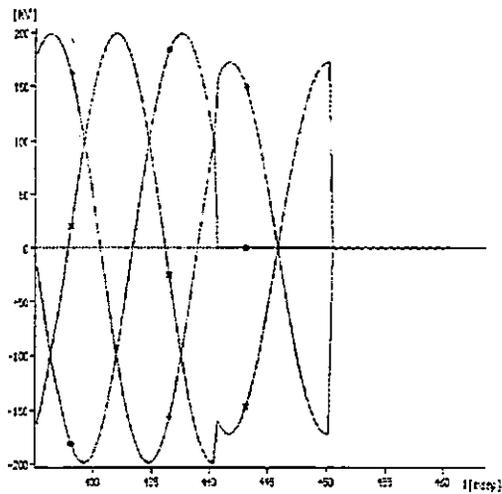


Figura 3. 9

En la gráfica de la izquierda se puede observar el comportamiento de la señal de corriente, cuando el interruptor comienza un cierre asincrónico

La región ampliada de la gráfica de la derecha muestra el comportamiento de la última fase que cierra, el voltaje cae a cero cuando el interruptor se ha cerrado completamente

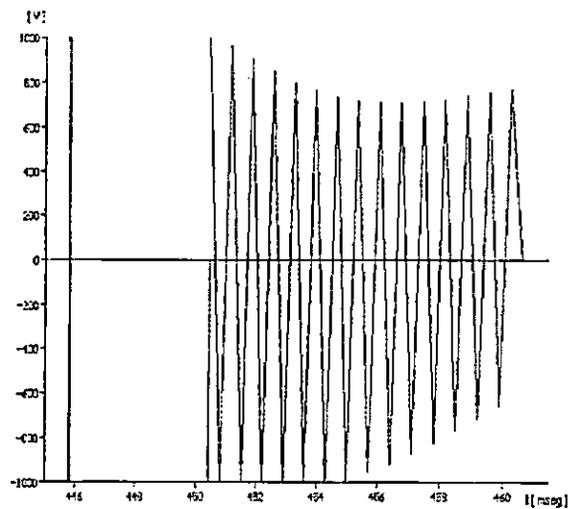


Figura 3. 10

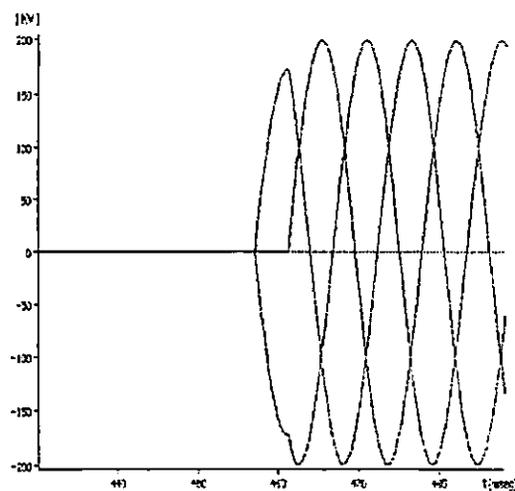


Figura 3. 11

La gráfica de la izquierda muestra una apertura asincrónica de los polos del interruptor. Como podemos observar al no haber simultaneidad entre los contactos ocurren perturbaciones en la señal de voltaje.

## E. SIMULACIÓN 2. Falla simple de línea a tierra.

### a. Con impedancia de falla:

En este caso la fase A sufre una falla por el contacto indirecto a tierra a través de una impedancia de falla. Este podría ser el caso del contacto de una rama de árbol a una línea.

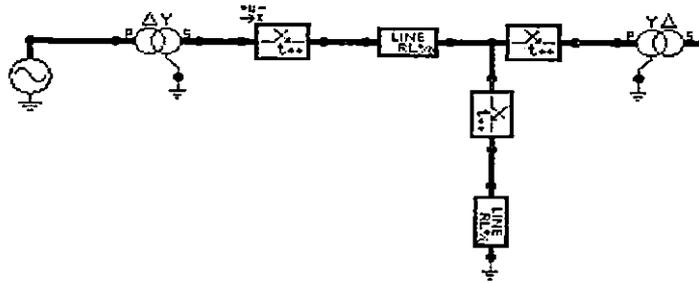


Figura 3.12 Circuito de falla simple a tierra

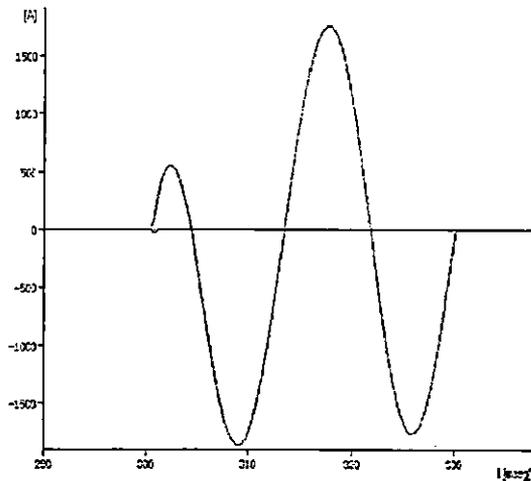


Figura 3.13 Gráfica de corriente

En la gráfica de la derecha se observa (a una escala menor) el pico de corriente que se da al caer a tierra una de las fases, además se observa la sobrecarga que sufren las fases no falladas así como también se observa la distorsión que sufren en los ciclos subsiguientes, posteriormente éstas se estabilizan.

En la gráfica de la izquierda podemos observar la elevación de corriente que ocurre al caer a tierra una de las fases a través de una impedancia de falla.

La corriente en las otras dos fases no se observa por ser muy pequeña, esto es debido a que se está analizando la línea en vacío.

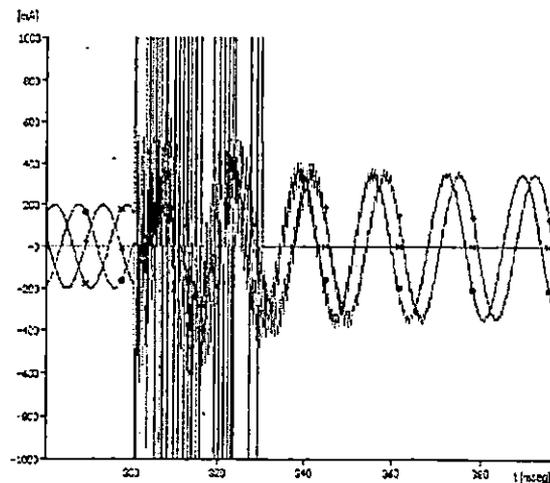


Figura 3.14 Región ampliada

b. Sin impedancia de falla:

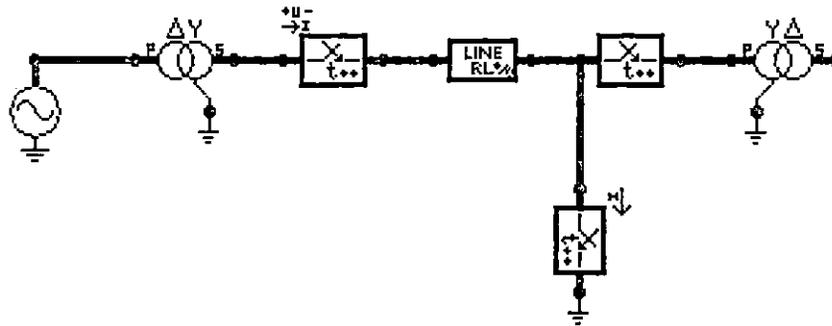


Figura 3.15 Circuito de falla simple a tierra

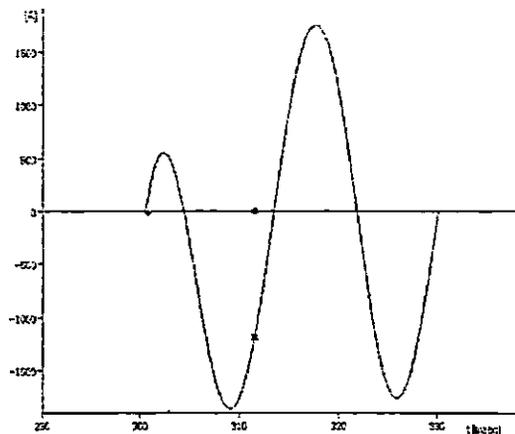


Figura 3.16 Gráfica de la corriente

En la gráfica de la izquierda podemos observar la elevación de corriente que ocurre al caer a tierra directamente una de las fases.

La corriente en las otras dos fases no se observa por ser muy pequeña, esto es debido a que se está analizando la línea en vacío.

En la gráfica de la derecha se observa (a una escala menor) el pico de corriente que se da al caer a tierra una de las fases, además se observa la sobrecarga que sufren las fases no falladas así como también se observa la distorsión que sufren en los ciclos subsiguientes, posteriormente éstas se estabilizan.

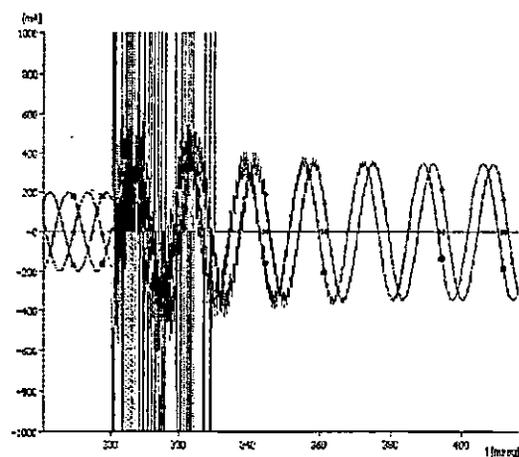


Figura 3.17 Región ampliada

F. SIMULACION 3. Falla de dos fases a tierra.

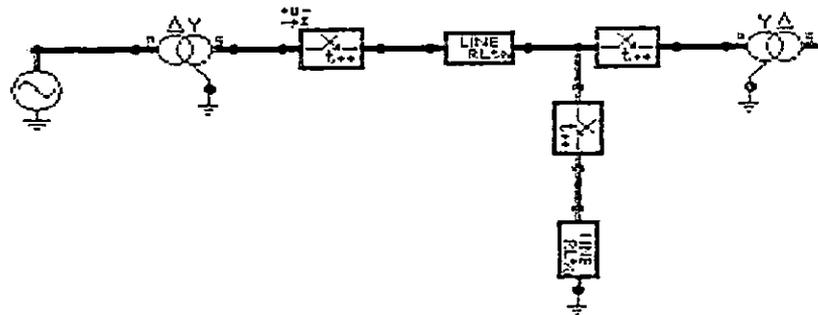


Figura 3.18 Circuito de falla doble a tierra

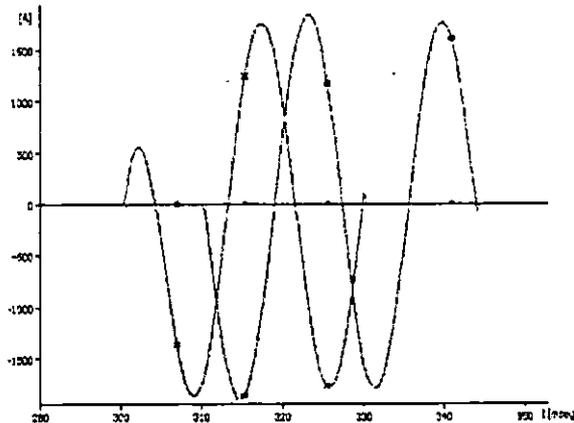


Figura 3.19 Gráfica de corriente

Esta grafica representa el mismo fenómeno de la anterior, sin embargo se presenta en una escala menor para poder apreciar el efecto que causa la falla sobre la corriente que circula en el interruptor. Tal como podemos ver antes de la falla, la señal de corriente es normal, al darse la falla aparecen unos picos de de corriente y distorsión en las otras fases, posteriormente, la fase no fallada empieza a estabilizarse aunque sobrecargada.

En esta gráfica podemos apreciar los picos de corriente que experimentan dos fases al caer a tierra, esta falla, que es mas crítica que la anterior, se ha analizado considerándola a través de una impedancia de falla. El análisis directamente a tierra se obviará ya que, como podemos apreciar en las gráficas anteriores, el efecto es similar.

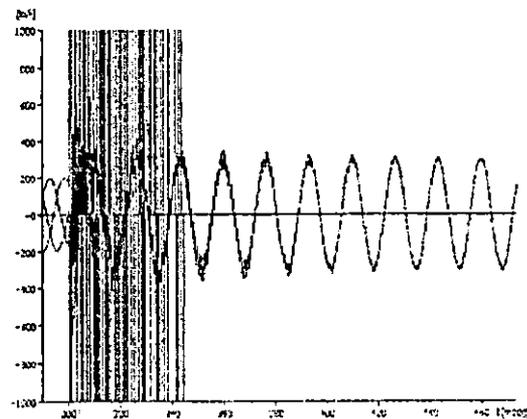


Figura 3.20 Región ampliada

**G. SIMULACION 4. Fálfa de tres fases a tierra.**

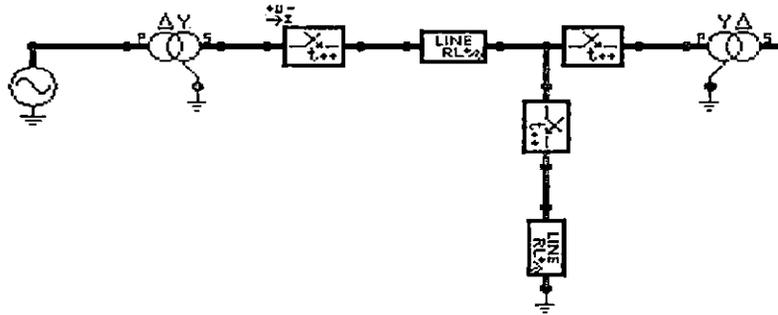


Figura 3.21 Circuito de tres fases a tierra

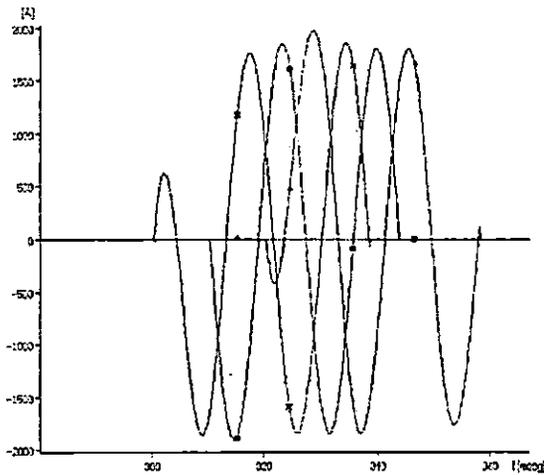


Figura 3.22 Gráfica de la corriente

En ésta gráfica podemos apreciar los picos de corriente que experimentan las tres fases al caer a tierra, esta es la más severa de las fallas, aunque de acuerdo a la experiencia es de las menos frecuentes.

Esta gráfica representa el mismo fenómeno representado anteriormente, sin embargo se presenta en una escala menor para poder apreciar el efecto de la falla sobre la corriente que circula en el interruptor.

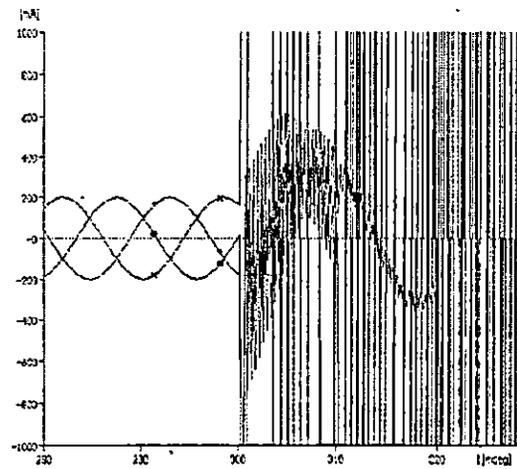


Figura 3.23 Región ampliada

### 3.3 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

- Todos los sistemas de redes eléctricas por muy sofisticados que sean, siempre están expuestos a sufrir fallas, sin embargo los daños que estas pueden causar, pueden ser disminuidas con un buen diseño de protección y coordinación.
- Recomendamos el uso del simulador ATP/EMTP para el análisis de sistemas de potencia, donde el interés sea hacerlo en tiempo real, especialmente para el diseño de protección y coordinación en sistemas de potencia.
- Basado en la experiencia, el fallo de línea simple a tierra es el que se presenta con mayor frecuencia y la de menor probabilidad es la falla trifásica en nuestra red de transmisión eléctrica.
- En todos los casos de fallas simuladas se observa un incremento de la corriente nominal.

### 3.4 CONCLUSIONES.

- La determinación de la estabilidad de un sistema en condiciones de régimen transitorio, resultantes de un fallo; dependen de la velocidad con la que los relés e interruptores de la red aíslan la parte con fallo.
- La importancia de tener interruptores con tiempos cortos de interrupción ante una falla es importante, ya que de no ser así, el sistema tendría que soportar sobrecorrientes mucho mayores que en estado estable de operación y esto generaría daños a todo el equipo de transmisión.
- Las fallas provocadas por cortocircuitos originan un cambio en las corrientes y voltajes del sistema, los nuevos valores dependerán del lugar, tipo de falla y características del sistema.
- El uso del método de componentes simétricas simplifica el análisis de sistemas de potencia desbalanceados.
- El cierre o apertura asincrónica de los polos de un interruptor provoca perturbaciones considerables en el sistema.
- El comportamiento de la corriente en fallas francas a tierra o con impedancia producen un efecto similar en cuanto al comportamiento de la corriente y voltaje.

### 3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

R. Brizuela Urquilla, Rubén Salvador. "Estudio de los Sobrevoltajes". Tesis para optar al grado de Ingeniero Electricista. Biblioteca UCA. Enero de 1979.

R. Análisis de Sistemas Eléctricos de potencia. W. D. Stevenson. Editorial McGraw Hill

R. Rule Book ATP/EMTP.

# ANEXOS.

## Anexo 1. Propiedades del hexafluoruro de azufre (SF6)

Peso molecular.....	146.07 gr-mol
Presión de vapor a 70 °F.....	310 Psig
Volumen específico, 70 °F, 1 Atm.....	2.5 pies <sup>3</sup> /lb
Temperatura de sublimación.....	-63.8 °C
Punto de congelación a 32.5 Psia.....	-50.8 °C
Gravedad específica, Gas, 20°C (aire -1).....	5.11
Densidad líquida a 0 °C.....	1.540 gr/cc
Densidad gas a 70 °F, 1 atm.....	6.139 gr/lt
Temperatura crítica.....	45.55 °C
Presión crítica.....	545.5 Psia
Densidad crítica.....	0.730 gr/cc
Calentamiento de sublimación .....	5640 cal/mol
Calentamiento de fusión .....	1390 cal/mol
Calentamiento específico, líquido, cp, a -50.6 °C.....	26.5 cal/mol °C
Calentamiento específico, gas, cp, 298 °K, 1 atm.....	23.22 cal/mol °C
Viscosidad, líquida a -20.3°C.....	0.404 cp
Viscosidad, gas a 2.11 °C.....	0.0145 cp
Tensión de ruptura a -20 °C.....	8.02 dinas/cm

## Anexo 2. Tablas ANSI

Table 3 (See Page 10)  
Preferred Ratings for Outdoor Circuit Breakers 121 kV and Above,  
Including Circuit Breakers Applied in Gas Insulated Substations\*

Rated Maximum Voltage (1) (13) kV, rms	Rated Voltage Range Factor K (2)	Rated Continuous Current at 60 Hz (3) Amperes, rms	Rated Short-Circuit Current† (at Rated Maximum kV) (4) (5) kA, rms	Transient Recovery Voltage (14) (15)			Rated Interrupting Time (7) Cycles	Rated Maximum Voltage Divided by K kV, rms	Maximum Symmetrical Interrupting Capability and Rated Short-Time Current (4) (5) (8) kA, rms	Closing and Latching Capability 2.7K times Rated Short-Circuit Current (4), kA, Crest
				Rated Time to Point P T <sub>2</sub> μ sec	Rated Rate R kV/μ sec	Rated Delay Time T <sub>1</sub> μ sec				
121	1.0	1200	20	275	1.7	2.9	3	121	20	54
121	1.0	1600, 2000, 3000	40	260	1.8	2.9	3	121	40	108
121	1.0	2000, 3000	63	260	1.8	2.9	3	121	63	170
145	1.0	1200	20	330	1.7	3.2	3	145	20	54
145	1.0	1600, 2000, 3000	40	310	1.8	3.2	3	145	40	108
145	1.0	2000, 3000	63	310	1.8	3.2	3	145	63	170
145	1.0	2000, 3000	80	310	1.8	3.2	3	145	80	216
169	1.0	1200	16	395	1.7	3.4	3	169	16	43
169	1.0	1600	31.5	360	1.8	3.4	3	169	31.5	85
169	1.0	2000	40	360	1.8	3.4	3	169	40	108
169	1.0	2000	50	360	1.8	3.4	3	169	50	135
169	1.0	2000	63	360	1.8	3.4	3	169	63	170
242	1.0	1600, 2000, 3000	31.5	520	1.8	4.1	3	242	31.5	85
242	1.0	2000, 3000	40	520	1.8	4.1	3	242	40	108
242	1.0	2000	50	520	1.8	4.1	3	242	50	135
242	1.0	2000, 3000	63	520	1.8	4.1	3	242	63	170
362	1.0	2000, 3000	40	775	1.8	4.9	2	362	40	108
362	1.0	2000	63	775	1.8	4.9	2	362	63	170
550	1.0	2000, 3000	40	1325	1.6	5.4	2	550	40	108
550	1.0	3000	63	1325	1.6	5.4	2	550	63	170
800	1.0	2000, 3000	40	1530	1.9	7.9	2	800	40	108
800	1.0	3000	63	1530	1.9	7.9	2	800	63	170

\*For rated dielectric test values, see Tables 4 and 5.

†For the related required capabilities associated with the rated short-circuit current of the circuit breaker, see Note 4.

Table 3A (See Page 11)  
 Preferred Capacitance Current Switching Ratings for  
 Outdoor Circuit Breakers 121 kV and Above, Including Circuit Breakers Applied  
 in Gas Insulated Substations

Rated Maximum Voltage kV, rms	Rated Short-Circuit Current kA, rms	Rated Continuous Current (3) Amperes, rms	Overhead Line Current Amperes, rms	Isolated Current (3) Amperes, rms	Overhead Line Current Amperes, rms	Isolated Current (3) Amperes, rms	Current (3) Amperes, rms	Peak Current kA	Frequency Hz	General-Purpose Circuit Breakers Rated Capacitance Switching Current (1) (2)		Definite-Purpose Circuit Breakers Rated Capacitance Switching Current (2)	
										Shunt Capacitor Bank or Cable	Back-to-Back	Shunt Capacitor Bank or Cable	Back-to-Back
121	20	1200	50	50	160	315	315	16	4250				
121	40	1600, 2000, 3000	50	50	160	315	315	16	4250				
121	63	2000, 3000	50	50	160	315	315	16	4250				
145	20	1200, 2000	63	63	160	315	315	16	4250				
145	40	1600, 2000, 3000	80	80	160	315	315	16	4250				
145	63	2000, 3000	80	80	160	315	315	16	4250				
145	80	2000, 3000	80	80	160	315	315	16	4250				
169	16	1200	100	100	160	400	400	20	4250				
169	31.5	1600	100	100	160	400	400	20	4250				
169	40	2000	100	100	160	400	400	20	4250				
169	50	2000	100	100	160	400	400	20	4250				
169	63	2000	100	100	160	400	400	20	4250				
242	31.5	1600, 2000, 3000	160	160	200	400	400	20	4250				
242	40	2000, 3000	160	160	200	400	400	20	4250				
242	50	2000	160	160	200	400	400	20	4250				
242	63	2000, 3000	160	160	200	400	400	20	4250				
362	40	2000, 3000	250	250	315	500	500	25	4250				
362	63	2000	250	250	315	500	500	25	4250				
550	40	2000, 3000	400	400	500	500	500	-	-				
550	63	3000	400	400	500	500	500	-	-				
800	40	2000, 3000	500	500	500	500	500	-	-				
800	63	3000	500	500	500	500	500	-	-				

**Table 4**  
**Schedule of Dielectric Test Values and External Insulation for AC High-Voltage Circuit Breakers\***

Rated Maximum Voltage kV, rms	Rating Table No.	Insulation Withstand Test Voltages								
		Low-Frequency		Impulse Test 1.2 × 50 microsecond Wave				Switching Impulse		
		1 Minute Dry rms kV	10 Second Wet rms kV	Full Wave† Withstand kV Crest	Inter-ruptor Full Wave kV, Crest	Chopped Wave, kV Crest‡		Withstand Voltage Terminal to Ground with Breaker Closed kV, Crest	Withstand Voltage Terminal to Terminal on One Phase with Circuit Breaker Open kV, Crest	Minimum Creepage Distance of External Insulation to Ground, Inches
						Minimum Time to Sparkover 2 μ sec Withstand	3 μ sec Withstand			
4.76	1	19	‡	60	§	‡	‡	‡	‡	‡
8.25	1	36	‡	95	§	‡	‡	‡	‡	‡
15.0	1	36	‡	95	§	‡	‡	‡	‡	‡
15.5	2	50	45	110	§	142	126	‡	‡	9(0.229m)
25.8	2	60	50	150	§	194	172	‡	‡	15(0.381m)
25.8**	2	60	50	125	§	‡	‡	‡	‡	15(0.381m)
38.0	1	80	‡	150	§	‡	‡	‡	‡	‡
38.0	2	80	75	200	§	258	230	‡	‡	22(0.559m)
38.0**	2	80	75	150	§	‡	‡	‡	‡	22(0.559m)
48.3	2	105	95	250	§	322	288	‡	‡	28(0.711m)
72.5	2	160	140	350	§	452	402	‡	‡	42(1.067m)
121	3	260	230	550	‡	710	632	‡	‡	70(1.778m)
145	3	310	275	650	‡	838	748	‡	‡	84(2.134m)
169	3	365	315	750	‡	968	862	‡	‡	93(2.489m)
242‡‡	3	425	350	900	‡	1160	1040	‡	‡	140(3.556m)
362‡‡	3	555	‡	1300	‡	1680	1500	825	900	209(5.309m)
550‡‡	3	860	‡	1800	‡	2320	2070	1175	1300	318(8.077m)
800‡‡	3	960	‡	2050	‡	2640	2360	1425	1550	442(11.227m)

\*For circuit breakers applied in gas insulated substations, see Table 5.

† 1.2 × 50 microsecond positive and negative wave. All impulse values are phase-to-phase and phase-to-ground and across the open contacts.

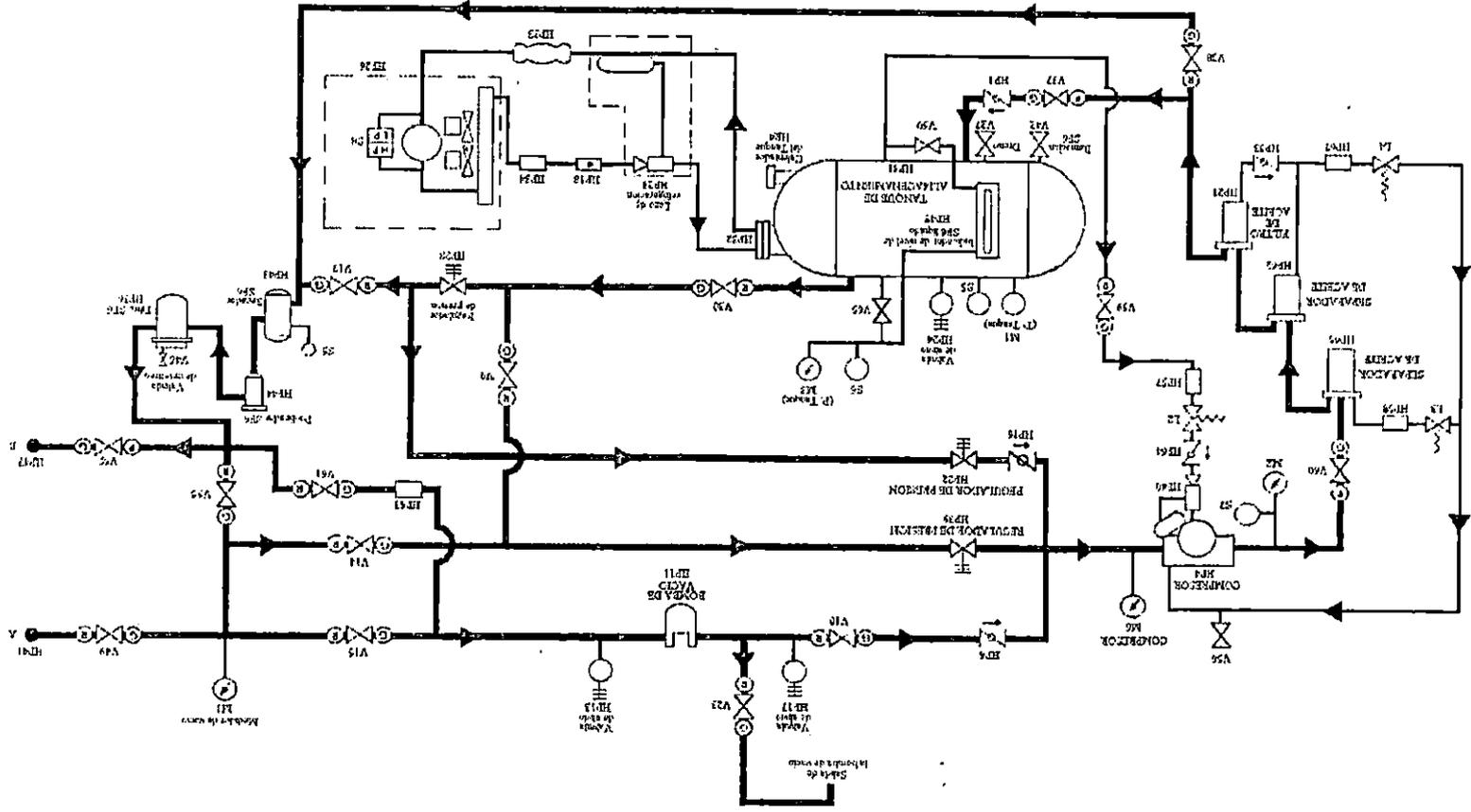
‡ Not required.

§ Not applicable.

\*\*These circuit breakers are intended for application on grounded wye distribution circuits equipped with surge arresters.

‡‡These circuit breakers are intended for application only on systems effectively grounded, as defined in ANSI/IEEE 32-1972.

Anexo 3. Diagrama de flujo del gas SF6 dentro de la recicladora



#### Anexo 4. Problemas comunes y reparación en la recicladora.

La tabla 1 lista algunos de los problemas que pueden ser encontrados cuando el reciclador de gas SF6 no funciona bien. Los problemas son listados en secuencia tal que suministren un enfoque para la rápida localización del defecto. La columna "área de investigación " lista inspecciones al técnico para hacerse en orden a reparar o el remplazo de algún componente encontrado defectuoso. Cualquier reemplazamiento de partes debe ser hecho con el equipo desenergizado (CB1 en OFF).

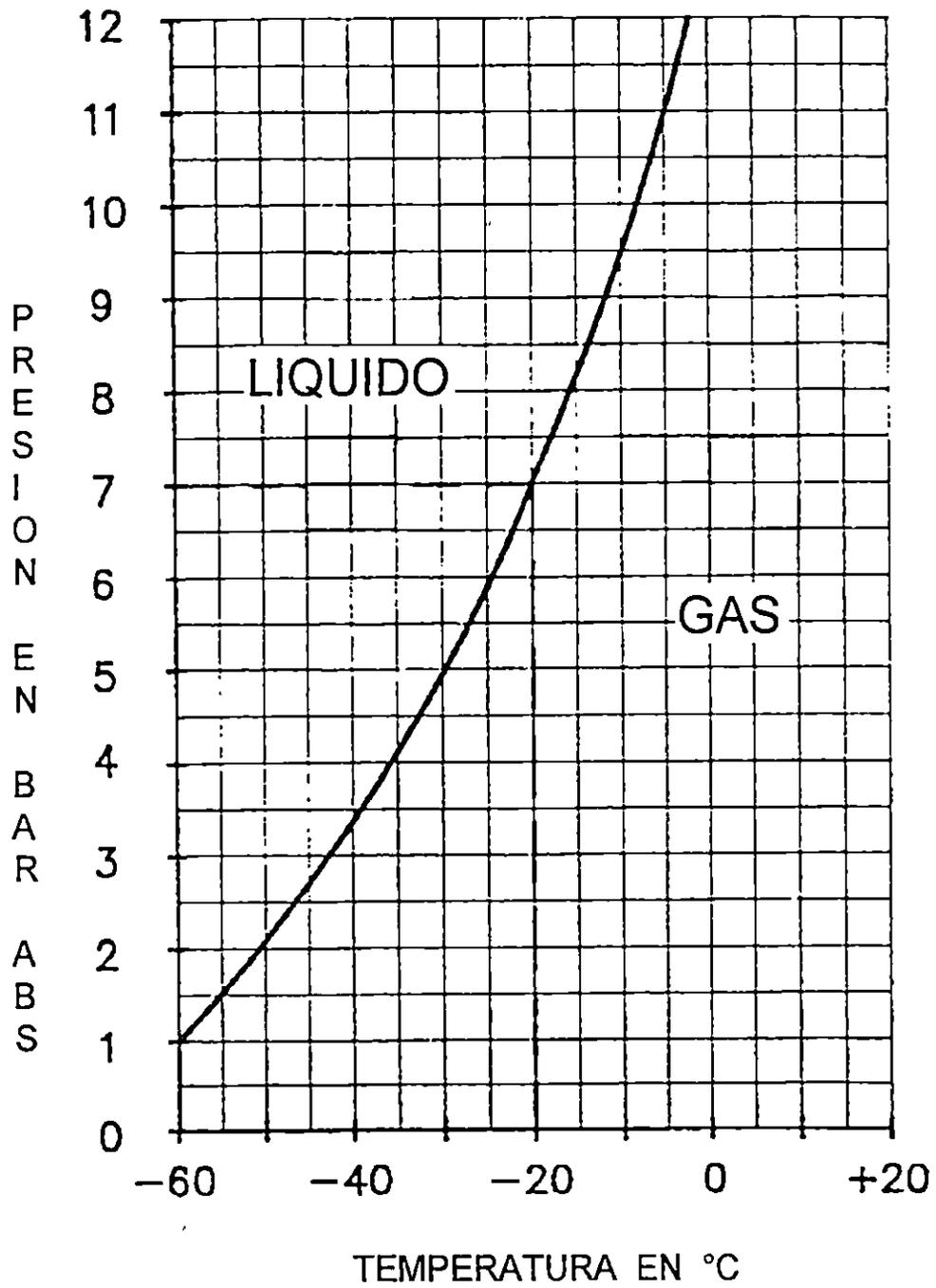
PROBLEMA	PROBABLE CAUSA	ÁREA DE INVESTIGACION
Con el sistema conectado SF6, la lámpara piloto D55 no enciende.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. El interruptor esta apagado.</li> <li>b. El fusible F1, esta fundido.</li> <li>c. Lámpara piloto defectuosa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Fije el interruptor en ON del disyuntor.</li> <li>b. Verifique el estado del fusible.</li> <li>c. Sustituya la lámpara piloto.</li> </ul>
El motor B2 no gira.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Motor sobrecargado.</li> <li>b. Arrancador del motor K2 defectuoso.</li> <li>c. Motor defectuoso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Presione el reset de encendido manual, K2.</li> <li>b. Inspeccione la bobina y los contactos.</li> <li>c. Inspeccione el motor.</li> </ul>
Los motores B3,B4 y B5 no giran	<ul style="list-style-type: none"> <li>a.El contactor K3 esta defectuoso.</li> <li>b. Motor defectuoso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Inspeccione la bobina y los contactos.</li> <li>b. Inspeccione el motor</li> </ul>
Los motores B4 y B5 giran y B3 no gira.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Motor sobrecargado.</li> <li>b. Motor defectuoso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Inspeccione el motor B3 y los calentadores térmicos.</li> <li>b. inspeccione el motor.</li> </ul>
Los motores B3, B4 y B5 giran en posición automático demasiado pronto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Cierre el interruptor de presión S6.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Inspeccione el ajuste del interruptor de presión.</li> </ul>
Los calentadores no operan.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. El fusible F2, esta fundido.</li> <li>b.El contactor K4 esta defectuoso.</li> <li>c. El calentador esta defectuosó.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Inspeccione el fusible.</li> <li>b. Inspeccione la bobina y los contactos.</li> <li>c. Inspeccione el calentador.</li> </ul>

Con el compresor encendido, la lámpara piloto del compresor DS1 no enciende.	a. Lámpara piloto defectuosa.	a. Reemplace la lámpara.
Con la bomba de vacío encendida, la lámpara piloto DS2 no enciende.	a. Lámpara defectuosa.	a. Reemplace la lámpara
Con la refrigeración encendida, la lámpara piloto DS4 no enciende.	a. Lámpara defectuosa.	a. Reemplace la lámpara.
El calentador HR1 se apaga automáticamente demasiado rápido.	a. Termostato S5, abierto.	a. Verifique el ajuste del termostato.
La presión de seguridad del gas SF6 se escapa a través de HP17.	a. Presión demasiado alta en la descarga de la bomba de vacío.	a. La válvula de manecilla V10, esta cerrada. b. El caudal de la bomba de vacío excede el caudal del compresor, redúzcalo en la entrada de la bomba de la válvula V15 (balancee el caudal).
El compresor del gas SF6 y la bomba de vacío no operan.	1. El interruptor de la presión de aceite S9, abierto, bajo nivel de aceite en el cigüeñal (Depósito que almacena el aceite para la lubricación del mecanismo).  2. El interruptor de presión S7 abierto.	1a. Válvula V56, en posición errónea. La válvula puede estar atorada (estancada). Presione en forma manual el botón rojo de reseteado. 1b. El compresor requiere más aceite. 1c. La tubería de retorno del aceite obstruida y el filtro HP58, necesita reemplazarse. 1d. El interruptor de palanca S13, localizado en el lado de la caja de unión, del compresor de gas, esta apagado.  2a. La válvula V60 esta cerrada. Abra la válvula . 2b. Válvula V37 esta

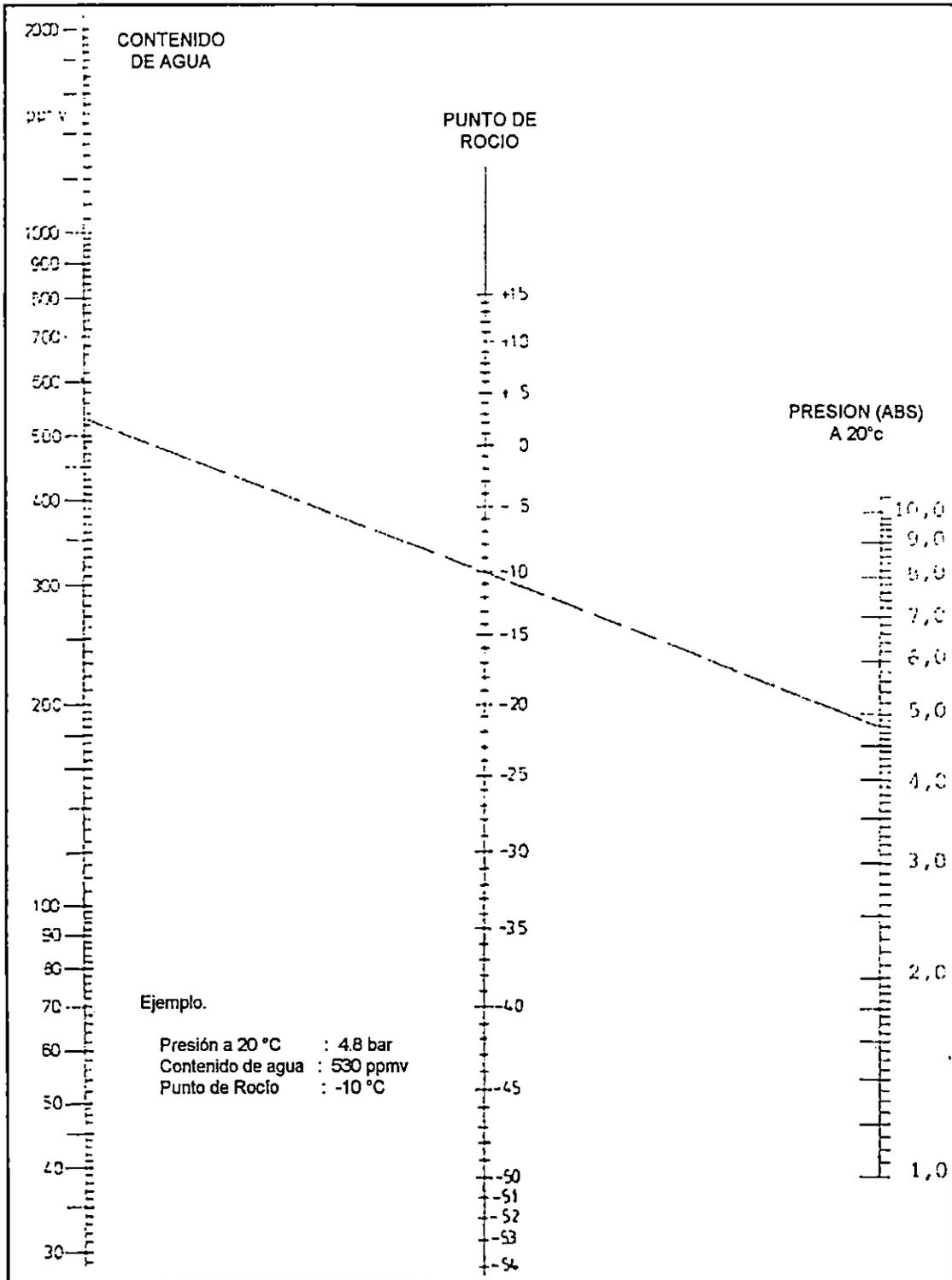
<p>* El compresor del gas SF6 no opera y la luz del indicador DS1 permanece encendido.</p>	<p>1. Compresor sobrecargado.</p> <p>2. El contacto K1 del motor esta defectuoso.</p> <p>3. Motor defectuoso.</p>	<p>cerrada. Abra la válvula.</p> <p>2c. Válvula de descarga del compresor esta cerrada. Abra la válvula.</p> <p>2d. La unidad de refrigeración no puede mantenerse arriba con la razón de bombeo del compresor. Esta condición puede existir en ambientes elevados (extremos). Si esto ocurre, deje la unidad de refrigeración operando y cuando la presión del tanque baje aproximadamente 350 Psig, apague el interruptor S7 y encienda el compresor del gas SF6.</p> <p>1a. La válvula V59 en la línea de inyección del líquido esta cerrada. Abra la válvula V59.</p> <p>1b. El interruptor de palanca S13, localizado en el lado de la caja de unión, del compresor de gas, esta apagado.</p> <p>1c. La corriente por el compresor es demasiado alta ,inspeccione esta con un amperímetro, la cual puede ser causada por una succión de presión demasiado alta dentro del compresor de gas SF6.</p> <p>Reduzca la presión de succión ajustando el regulador HP 39.</p> <p>Inspeccione la bobina y los contactos. Inspeccione el motor.</p>
--	---	---

\* Si el compresor operando se detiene y la luz del indicador DS1 permanece encendida, esto significa una condición de motor sobrecargado. Esto puede ocurrir; la luz del indicador DS1 permanece encendida por un corto tiempo y después se apaga. Esto es causado por la apertura de los contactos, SC, el interruptor de presión de aceite S9 (referirse al esquema eléctrico). Permita que el motor del compresor se enfríe y presione el botón de reseteado manual (Rojo), asegúrese que el interruptor de la presión de aceite en el compresor de gas SF6 esta encendido.

Anexo 5. Curva P-T para el Hexafluoruro de Azufre (SF6).



## Anexo 6. Medición del contenido de agua a partir del Punto de Rocío y la Presión del gas SF6.



## Anexo 7. Indicaciones importantes.

La cuidadosa observación de las siguientes indicaciones permite una medición libre de errores.

Fuentes de error:	Medidas de auxilio:
1. Condensación en el instrumento debida a sitios con temperatura menor que la del punto de rocío en el sistema de medición.	Enjuagar el instrumento con gas seco (ver sección 2.3.3, numeral 1b). La temperatura del instrumento no debe quedar debajo del punto de rocío del ambiente (por ejemplo después de transporte en tiempo frío).
2. Humedad en las mangueras de toma de gas.	Tuberías de toma de gas deben enjuagarse con gas seco, por lo menos durante 10 minutos antes de su uso.
3. Humedad en acoplamientos.	Todos los acoplamientos deben calentarse por lo menos a 60 °C (o más) con un soplador de aire caliente, antes de conectarlos.
4. Aceite y grasa en las tuberías y los acoplamientos.	Tuberías y acoplamientos deben enjuagarse con un solvente (por ejemplo Tricloro, Acetona) y luego se soplan con aire comprimido.
5. Penetración de la humedad del aire exterior (ver siguiente numeral).	Cualquier fuga, desde la toma hasta el espejo, debe evitarse rigurosamente (Detector de fugas, solución jabonosa, etc.).
6. Mala calidad de manguera, no debe usarse: Goma, Nylon, PVC, son permeables a la humedad y muy higroscópicos.	Buenos, usables hasta -40°C punto de rocío: Polietileno (PE), Cobre (Cu). Muy buenos, usables hasta los límites de medición: Teflón (PTFE) Acero al Níquel/Cromo (18/8).
7. Influencia de la presión.	Ver anexos 5 y 6
8. Cambio de caudal.	Si el caudal varia poco (Aproximadamente 20.....50 lt/h) no hay ninguna influencia sobre el valor medido. Si el caudal es demasiado alto, hay una caída de presión y el resultado es inexacto. Si el caudal es

<p>9. Indicación inestable (Para mediciones bajo presión), el indicador pendula en el campo verde y la indicación del punto de rocío cambia todo el tiempo hacia arriba y hacia abajo, este caso se presenta al haber licuefacción de SF6.</p> <p>10. Después de la limpieza del espejo dura mucho tiempo hasta que se indica un punto de rocío.</p> <p>11. Después de un largo tiempo de medición, el punto de rocío se va reduciendo en forma continua(En uno o en varios sitios de medición).</p>	<p>demasiado bajo, se necesita un tiempo mayor para medir el punto de rocío correcto.</p> <p>En lo posible, medir a presión atmosférica (según sección 2.3.4, numeral 5b ). Se quita la parte delantera del cabezal medidor, el espejo se seca con un pañuelo desechable y se le echa el aliento brevemente.</p> <p>Al limpiar el espejo se quitan todos los puntos de cristalización de la humedad. Después de la limpieza se echa el aliento brevemente.</p> <p>El espejo se ha nublado por algún cuerpo extraño. Limpiar el espejo(Ver punto 10). Como medida preventiva, se limpia el espejo aproximadamente cada hora, presionando "mirror check" hasta que el indicador este en el campo rojo.</p>
--	--