

1240

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA



## **LINEAMIENTOS EN EL DISEÑO DE SUBESTACIONES PARA REDUCIR LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA EN  
PROYECTOS DE INSTALACION  
ELECTRICAS

P R E S E N T A :

ING. ANDRE FARAH YOUSSEF

DIRECTOR: ING. SALVADOR HERNANDEZ GONZALEZ

MEXICO, D. F.

1991





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

LINEAMIENTOS EN EL DISEÑO DE SE'S PARA REDUCIR LA  
INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA

**R E S U M E N**

I.	INTRODUCCION.	2
II.	CONCEPTOS GENERALES.	3
	2.1 Introducción	3
	2.2 En circuitos de A. T.	4
	2.3 En Bajos Voltajes Auxiliares	9
	2.4 En equipos Electrónicos de Potencia	12
	2.5 De Radio Frecuencia	12
	2.6 Modos de Acoplamiento	13
	2.7 Espectro de Frecuencia	16
III.	CONTROL DE LA IEM	18
	3.1 En el Diseño del Relevador	19
	3.1.1 Por medio de Filtros	19
	3.1.2 Protección contra el transitorio rápido	21
	3.2 En el Diseño de la S. E.	21
	3.2.1 Introducción	22
	3.2.2 Tipos de Cable de Control	22
IV.	LINEAMIENTOS EN EL DISEÑO DE SUBESTACIONES.	25
	4.1 Introducción	25
	4.2 Factores de diseño	26
	4.3 Importancia de las Normas	26
	4.4 Lineamientos	27
	4.4.1 Localización Física	27
	a) Trayectoria del cable de control	27
	b) Concepto Radial	30
	c) Ruta Cable de Control Cercana	31

4.4.2	Aterrizamiento	33
4.4.3	Blindaje Metálico de Cables de Control	35
4.4.4	Agrupamiento	36
4.5	Especificaciones de Cable de Control	42
V. CONCLUSIONES		46
VI. BIBLIOGRAFIA		47

## R E S U M E N :

El diseño de los circuitos de control, protección y medición en las subestaciones modernas debe incluir medios para reducir interferencias electromagnéticas (IEM) no deseadas a niveles tolerables. La IEM más importante es la que proviene de corrientes o voltajes o ambas, inducidas en los circuitos como consecuencia de la cercanía de los circuitos de control con las barras primarias donde aparecen las corrientes o voltajes transitorios como resultado de operaciones de switcheo o fallas.

La IEM puede afectar la operación de sistemas electrónicos - tales como relevadores de protección de estado sólido, por lo que el objetivo de este trabajo es establecer los lineamientos de diseño para la aplicación e instalación de los cables de control y cables de potencia de baja tensión en subestaciones de alta y extra alta tensión, con el fin de reducir las IEM'S a niveles que sean compatibles con los de prueba de los equipos de protección y así no interfieran en la operación de éstos.

En el Capítulo II. (CONCEPTOS), se presenta la teoría de la IEM, analizando las diferentes fuentes de IEM, los modos de acoplamiento electromagnético de los circuitos primarios a los circuitos secundarios o de control, espectro de frecuencia, etc.; pretende ser una guía que establezca los lineamientos de diseño de nuevas subestaciones en lo que respecta al desarrollo de la instalación de cables de control para controlar el ambiente de la IEM. Esta guía esta basada principalmente en las recomendaciones delineadas en IEEE -- 525-19-78.

Se presentan especificaciones de cable de control blindado - adecuado para uso en subestaciones y una amplia bibliografía relacionada con el objetivo del presente trabajo.

## I. INTRODUCCION .

El uso creciente de sistemas electrónicos de estado sólido para relevadores de protección, control y medición en un sistema eléctrico de potencia, ha hecho necesario que los ingenieros estudien y entiendan la presencia de interferencia electromagnética y su efecto sobre esos sistemas electrónicos. Fuentes de interferencia transitoria se han identificado tanto en los circuitos de potencia en corriente alterna en alto voltaje, como en tensiones auxiliares de bajo voltaje de corriente alterna y corriente directa y circuitos de control; provocando la presencia de sobretensiones transitorias en las terminales del relevador. Estas sobretensiones se acoplan por medio de los circuitos de control. También la interferencia debida al uso de radios portátiles para comunicación, es un factor adicional.

La interferencia electromagnética puede dar como resultado una operación falsa si el dispositivo semiconductor responde a la señal distorsionada, en casos extremos las sobretensiones transitorias pueden dañarlo y hacerlo fallar. Para fines prácticos, la interferencia electromagnética debe suprimirse desde su origen, o sea que el diseño de los circuitos de control es de suma importancia, ya que con un diseño adecuado el acoplamiento será menor y por lo tanto las sobretensiones también lo serán; sin embargo, también se debe proporcionar protección adecuada en el equipo afectado y para ésto las técnicas de filtrado han demostrado ser efectivas en el control de la interferencia.

## II. CONCEPTOS GENERALES.

### 2.1 INTRODUCCION

Para transitorios originados por circuitos de C. A. en alta tensión, un factor importante es el grado de acoplamiento entre los campos electromagnéticos asociados y la proximidad de los cables y circuitos de control. El cable de control blindado, rutas o localizaciones de los cables y técnicas de puesta a tierra han probado ser un medio para minimizar esta interferencia.

Un tipo diferente de interferencia es el transitorio rápido, el cual, se presenta en los circuitos de baja tensión de C.A. y de control de C. D., el cual, puede tener severos efectos sobre dispositivos de estado sólido cercanos.

También, equipos de conversión de potencia de estado sólido - tales como, inversores y cargadores de baterías pueden producir interferencia, la cual, se transmite a todo el sistema de control.

El empleo muy extendido de transmisores portátiles de radio - para comunicación personal, han creado problema de interferencia, siendo esto reconocido en toda la industria.

Ciertos dispositivos de estado sólido son bastante sensitivos a tales radiaciones, y se han reportado algunos incidentes serios de campo. Usando tales dispositivos, lo anterior es un riesgo para la seguridad de los relevadores de protección de estado sólido. Se pueden usar técnicas de diseño para minimizar este problema y se han desarrollado pruebas de norma, de las cuales se hablará más tarde.

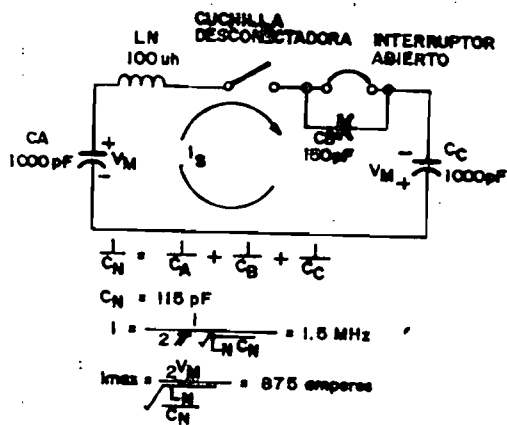
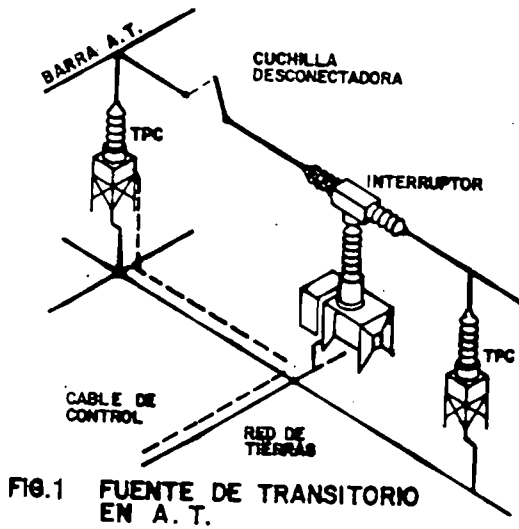
## 2.2 EN CIRCUITOS DE ALTA TENSION DE C. A.

Es bien conocido que casi cualquier operación de switcheo en subestaciones de alta tensión como disparo y cierre de interruptores, operación de cuchillas desconectadoras y operación de gaps o apartarrayos, producen un cambio súbito en la distribución de la corriente local, la cual, penetra en el área entera. Este campo induce corrientes y voltajes transitorios en todos los circuitos y objetos conductores cercanos. Esta fuente de transitorio, casi siempre contiene componentes de corrientes y de voltaje con un fuerte contenido de oscilaciones de alta frecuencia, tal que la interferencia inducida en los circuitos de control cercanos se caracteriza por un contenido similar de altas frecuencias. El resultado de las pruebas de campo indican que el rango de frecuencias es desde 100 Khertz 5 Mega-Hertz. En cables de control no protegidos, se han registrado voltajes transitorios de varios KV pico. Otras pruebas de campo han medido corrientes transitorias de alta frecuencia que se aproximan a los 1000 Amperes fluyendo de la terminal de puesta a tierra de los equipos de alta tensión al sistema de la red de tierras.

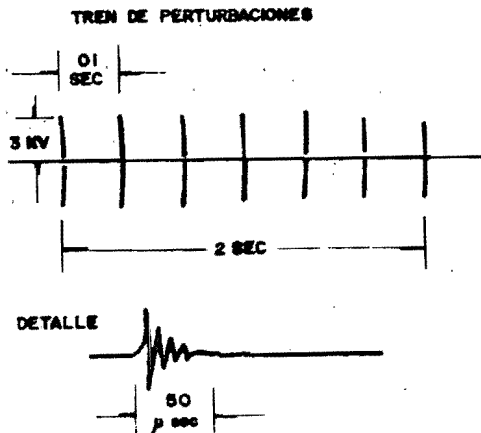
Un ejemplo de como este tipo de interferencia se genera, se muestra en la figura 1 y 2.

La figura 1 muestra un arreglo de barras de subestación conteniendo un interruptor y una cuchilla entre dos transformadores de potencial capacitivos. La figura 2 muestra el circuito equivalente. Se forma un circuito cerrado por el retorno de la red de tierras a través de los transformadores de potencial capacitivos (TPC'S). La capacitancia de gradiente de los interruptores es pequeña, 150 p.f., la inductancia del circuito también es pequeña, 100 UHy, la cual, es típica; por lo tanto la frecuencia resonante del circuito es alta. Para los valores típicos mostrados, es del orden de 1.5 MegaHertz.





Sin embargo, la cuchilla sufre un flameo o reencendido de arco y circularán en el circuito corrientes de alta frecuencia. Para una subestación de 500 KV., la corriente sería del orden de 875 Amperes como se ilustra. Esta corriente es acompañada por un campo electromagnético transitorio, el cual inducirá - altos voltajes en los circuitos cercanos. El resultado del fenómeno anterior, es la producción de una serie muy larga de perturbaciones decrecientes durante el tiempo que se efectúa el flameo, una perturbación cada vez que los contactos de la cuchilla flamean. El tiempo entre cada perturbación es menor de medio ciclo por lo que la cantidad total es de 120 o más - por cada fase y de 360 o más en las tres fases; como se indican en la figura 3.



**FIG.3 FORMA DE ONDA DEL VOLTAGE TRANSITORIO**

La energización de bancos de capacitores puede causar muy severos transitorios y especialmente cuando ya un banco está conectado a la barra y los reactores de amortiguamiento no están instalados.

Cortos circuitos y fallas a tierra están asociados con un abatimiento súbito de las tensiones en las fases falladas. Este decrecimiento de la tensión es un transitorio con signo negativo y componente de alta frecuencia junto con la componente fundamental. La magnitud del transitorio de tensión es siempre menor que el valor pico de la tensión de operación. El tiempo de crecimiento puede ser aproximadamente de un microsegundo, lo cual, representa una frecuencia de aproximadamente un MegaHertz. Cortos circuitos y fallas a tierra en sistemas sólidamente aterrizados causan altas corrientes de falla de frecuencia fundamental. Fallas a tierra en sistemas aterrizados de alta impedancia están asociados con transitorios de corriente de alta frecuencia. La magnitud de estos transitorios de corriente pueden alcanzar varios Kiloamperes y con un contenido de frecuencia de algunos KiloHertz a algunos MegaHertz.

Las corrientes transitorias que circulan en los conductores primarios, en una trayectoria vertical a tierra (corrientes de fuga) en los TPC'S, son acompañados por un campo magnético transitorio. Esto inducirá un voltaje en cualquier circuito que sea eslabonado por este flujo. Este modo magnético de acoplamiento se ilustra en la figura 4. para barra con conductor aéreo y un cable de control, y por la figura 5. por la región cercana a la base de un TPC.

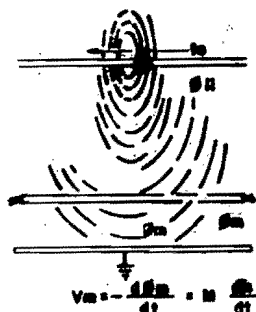


FIG. 4

**ACOPLAMIENTO MAGNETICO  
DESDE LA BARRA**

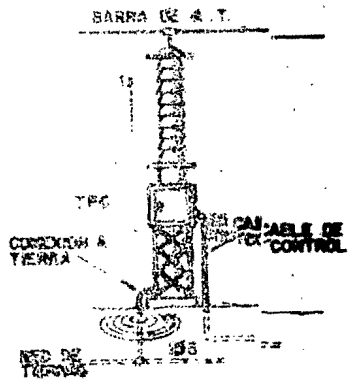


FIG. 5  
 ACOPLAMIENTO MAGNETICO EN LA CERCANIA DE UN TPC.

Además, el voltaje transmitido en la barra aérea causa circulaciones de corrientes en cualquier conductor, señal y cables de control. Este acoplamiento de campo eléctrico se ilustra en la figura 6.

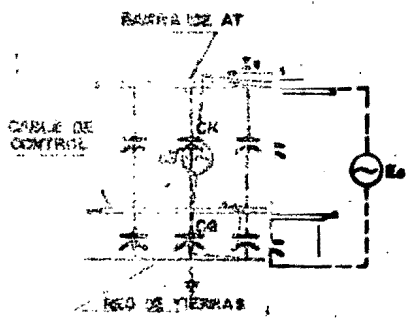


FIG. 6  
 ACOPLAMIENTO DE CAMPO ELECTRICO ENTRE BARRAS

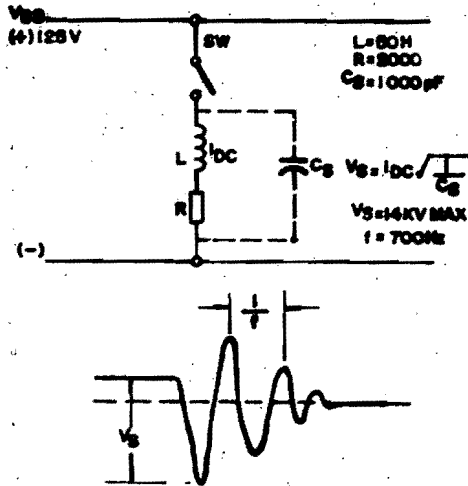
Tanto el acoplamiento de campo eléctrico como magnético están siempre presentes y la interferencia producida es la suma de dos efectos. Su importancia relativa depende de varios factores tales como geometría, física del arreglo de la subestación, contenido de frecuencia transitoria, magnitudes de corriente y voltaje transitorio, la presencia o ausencia de cables blindados, y arreglos de las puestas a tierra.

### 2.3 EN BAJOS VOLTAJES AUXILIARES.

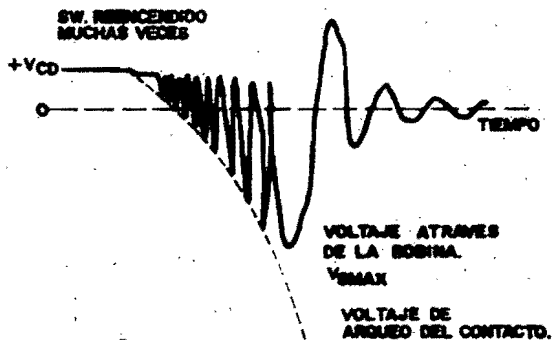
Probablemente el transitorio más severo generado en el alambrado de bajo voltaje en la subestación, es el que se produce cuando un dispositivo tal como una bobina de un relevador auxiliar es desenergizado. Bajo condiciones lineales, esto puede producir altas tensiones transitorias de extremadamente corta duración, las cuales se transmiten directamente a través de los sistemas de alambrado de bajo voltaje. Este fenómeno se conoce como transitorio rápido debido a su elevación con respecto al tiempo y corta duración.

El transitorio rápido se genera por el reencendido del switch que interrumpe la corriente en un dispositivo, como por ejemplo una bobina de relevador. Cuando se interrumpe la corriente y los contactos flamean o reencienden el arco, el colapso del campo magnético en la bobina, genera oscilaciones de alto voltaje junto con la capacitancia de fuga de la bobina del relevador y su alambrado, como se muestra en la figura 7. Si el switch es perfecto, o sea que el arco no reencienda, el voltaje intentará elevarse a grandes magnitudes, posiblemente sobre 10 KV. Sin embargo, los contactos del switch debido a su cercanía no pueden soportar tal voltaje, por lo que la figura 8 muestra la situación real. El voltaje de reencendido del switch se incrementa con el tiempo conforme se separan los los contactos. Muchos reencendidos ocurren hasta la interrupción final. Cada vez a un voltaje mayor en cada reencendido la capacitancia de fuga cargada a un voltaje mayor es

súbitamente reconectada al alambrado del circuito de control, descargándose muy rápidamente. Esto produce un pulso extremadamente rápido, con una corta duración, la cual, se propaga a lo largo del sistema de alambrado de bajo voltaje.



**FIG. 7 SWITCHEO DE UNA BOBINA DE RELEVADOR.**



**FIG. 8 FORMA DE ONDA DEL VOLTAGE EN LA BOBINA CON REENCENDIDO DEL SWITCH.**

La energía descargada en el alambrado de control por el transistorio rápido, se puede estimar desde el voltaje pico y la capacitancia de fuga.

$$E = 1/2 CV^2$$

SUPONIENDO :  $C = 500 \times 10^{12}$  farads.

y  $V = 4000$  volts.

La energía es de 4 milijoules.

Esta es un aumento relativamente pequeño de energía, sin embargo, es disipada en un tiempo extremadamente corto, tal que la relación de tiempo a flujo de energía o la disipación de potencia para un tiempo corto puede ser muy alta. Si, para el ejemplo dado, la energía es disipada en menos que 50 nanosegundos, la potencia promedio es:

$$-- P = E/t = 0.04/50 \times 10^9 = 80 \text{ KW.}$$

La experiencia de campo y las pruebas de laboratorio han demostrado, que con este aumento de energía aplicada, la mayoría de los dispositivos semiconductores aún para el intervalo de unos pocos nanosegundos, pueden causar daño al dispositivo. En el caso de rectificadores de silicón, el resultado será un incremento notable en la corriente inversa de fuga y su falla más tarde.

Otra característica de los transitorios rápidos, es su muy rápida elevación con el tiempo (velocidad). La velocidad inicial de cambio de voltaje puede exceder 1000 billones de volts /segundo. Este valor extremo de  $dv/dt$  contribuye al máximo acoplamiento en los sistemas electrónicos a través de pequeñas capacitancias de fuga. Basta una capacitancia de acoplamiento de un picofarad para que aparezca una interferencia de corrien

te de 0.1 Amper en los circuitos afectados. La trayectoria - de la capacitancia de fuga a través de los circuitos magnéticos aislados, bobinas, filtros, alambrado, etc., son especialmente vulnerables.

#### 2.4 EN EQUIPOS ELECTRONICOS DE POTENCIA

Otra fuente de inducción electromagnética presente en los circuitos de control de C.D., en los sistemas eléctricos de potencia e instalaciones industriales, es causado por los equipos electrónicos de potencia tales como inversores y cargadores de baterías de estado sólido. Durante su intervalo de conmutación, estos equipos pueden imponer transitorios de baja frecuencia sobre los sistemas, lo cual puede afectar otros - equipos electrónicos no protegidos. La velocidad de repetición depende del equipo que esté produciendo la interferencia.

Para inversores, esta puede ser tan alta como varios Kilo-Hertz. Este tipo de interferencia es difícil de controlar - por medio de filtros en el equipo afectado. Filtros localizados en las entradas de los inversores de C.D. son más efectivos.

#### 2.5 DE RADIO FRECUENCIA

El campo electromagnético en el medio que rodea a las antenas de pequeño transmisores de radio portátiles, pueden ser lo - suficientemente fuertes para inducir señales eléctricas indeseables en muchos equipos electrónicos.

La experiencia ha mostrado que algunos dispositivos a base de semiconductores son bastante sensitivos a este tipo de in-



interferencia. En particular, los circuitos integrados bipolares lineales, son más bien detectores sensitivos para las frecuencias usadas para tales comunicaciones, a menos que usen técnicas especiales en el diseño y aplicación de los circuitos para reducir la sensibilidad. Dispositivos digitales parecen ser algo menos sensitivos. Se han reportado varios incidentes donde se han empleado transmisores portátiles de mano de 5 watts operando a 450 MegaHertz, los cuales, han causado operaciones falsas de los relevadores de protección de estado sólido.

Otras industrias han tenido experiencia similar con esta fuente de inducción electromagnética. Procesos industriales usando controles electrónicos computalizados han experimentado malas operaciones y excesivas pérdidas de material.

Un grupo de trabajo del comité de relevadores de los sistemas de potencia IEEE ha estudiado este problema desarrollando -- pruebas de norma para evaluar la habilidad de los relevadores de protección de estado sólido para operar con seguridad en la presencia de niveles razonables de interferencia de radio frecuencia.

Pruebas de laboratorio han mostrado que es factible y práctico diseñar relevadores de protección de estado sólido para operar en campos de radio frecuencia de alrededor de 15 volts /metro. Este es un valor típico de la intensidad de campo máximo a un metro de distancia desde un transmisor de radio portátil de 5 watts.

## 2.6 MODOS DE ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNETICO.

Los transistorios primarios acoplados a los circuitos del relevador dan como resultado sobretensiones en modo común y modo transversal. Las sobretensiones de modo común se presen -

tan en el circuito entre el conductor y tierra. Las sobre - tensiones de modo transversal se presentan en el circuito entre conductores; ver figura 9.

La tensión de modo común aplica esfuerzos al aislamiento a tierra a varios equipos en los circuitos. La tensión de modo transversal se agrega a la señal en el circuito y se puede caracterizar como ruido en la señal. Tensiones de modo común se transforman a tensiones de modo transversal si el - circuito está desbalanceado con respecto a tierra.

El acoplamiento del transitorio primario al circuito del relevador toma lugar por acoplamiento inductivo, capacitivo; ver figura 9.

La corriente transitoria primaria  $I_t$  está inductivamente acoplada a los circuitos del relevador por la inductancia  $M_{k-t}$ . La inductancia  $M_{k-t}$  que causa la tensión transversal  $U_t$  es por el trenzado de los conductores en el cable, reduciendo a un valor que hace a la tensión transversal despreciable en circuitos normales de relevadores.

En la mayoría de los cables para circuitos de protección, el trenzado de los diferentes pares de conductores, uno contra el otro, es insignificante. Transitorios de corriente en un par de conductores está inductivamente acoplado a otro par de conductores en el cable, causadndo tensiones de modo transversal.

La inductancia  $M_{k-t}$  entre los conductores de alta tensión y el circuito formado por la red de tierras de la subestación y un cable, es relativamente alta. Esta inductancia  $M_{k-t}$  se puede reducir localizando el cable cerca de la red del sistema de tierras; usando cables blindados - aterrizando la pantalla en ambos extremos, la inductancia  $M_{k-t}$  a los conductores del cable, puede ser fuertemente reducida.

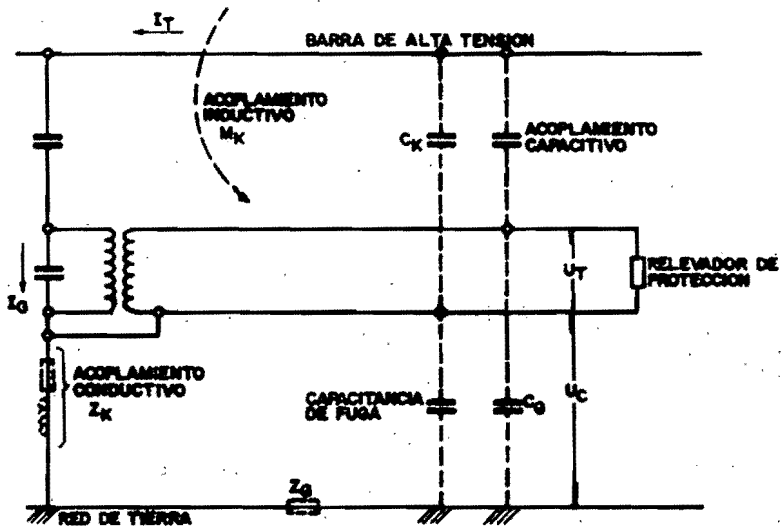
El acoplamiento inductivo entre tierra y el cable causa una tensión de modo común  $U_c$ ; ver figura 9.

Las tensiones de modo transversal y común acopladas capacitivamente desde los conductores de alta tensión a los circuitos de los relevadores, son bajas y pueden ser despreciadas en circuitos de relevadores normales, debido al pequeño acoplamiento capacitivo  $C_k$  y a la capacitancia de fuga relativamente alta  $C_G$ ; ver figura 9.

En transformadores de corriente el acoplamiento capacitivo - entre los devanados de alta tensión y los devanados secundarios es de tal orden, que es necesario poner a tierra el devanado secundario para evitar tensiones destructivas de modo común.

La sobretensión transitoria acoplada conductivamente, es causada por las corrientes a tierra e incrementos de potencial en la red del sistema de tierras en el punto de inyección de corriente, ver figura 9. Para controlar la tensión, la impedancia de acoplamiento  $Z_k$  tiene que ser pequeña.

El transitorio de corriente de tierra de alta frecuencia  $I_g$ , es acoplado desde los conductores de alta tensión por medio de la capacitancia de fuga en los aparatos de alta tensión. Transformadores de instrumentos y especialmente transformadores de potencial capacitivos tienen en su mayoría una gran capacitancia a tierra y se debe realizar el acoplamiento conductivo. Las tensiones de modo común de alta frecuencia se pueden reducir en el equipo de protección empleando cables de control blindados con la pantalla aterrizada en ambos extremos.

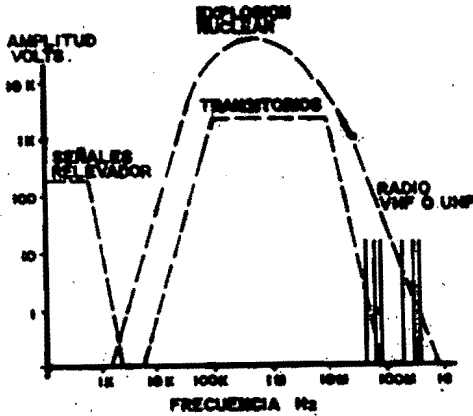


$U_T$  = VOLTAJE DE MODO TRANSVERSAL  
 $U_c$  = VOLTAJE DE MODO COMUN.

**FIG.9 MECANISMO DE ACOPLAMIENTO.**

**2.7 ESPECTRO DE FRECUENCIA**

Una comparación del espectro de frecuencia de la interferencia electromagnética con respecto a las señales de entrada para los relevadores de protección, se muestra en la figura 10. También se muestra la banda de frecuencia aproximada en que operan los equipos de radio portátiles para uso industrial. La figura 10 indica el espectro total de frecuencia de la interferencia electromagnética, transitorios y radio, los cuales, tienen un rango de frecuencia desde 100 KHz hasta 500 MegaHertz. En contraste, el ancho de banda de la frecuencia requerida por las formas de onda transitoria y de estado estable de las señales de entrada de los relevadores de protección, está dentro del rango de unos cuantos Hertz hasta menos que 10 KHz.



**FIG.10 ESPECTRO DE FRECUENCIA DE LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA.**

Por lo tanto, la banda de frecuencia de la interferencia electromagnética presente en las subestaciones es mucho más grande. La comparación se muestra también en la figura 11, la cual, es un valor estimado del contenido de frecuencia y contenido relativo de energía tanto de las señales de información del relevador como la interferencia electromagnética; también se muestra la energía estimada y banda de respuesta de varias familias de dispositivos semiconductores comúnmente usados en la protección de estado sólido y equipos de control.

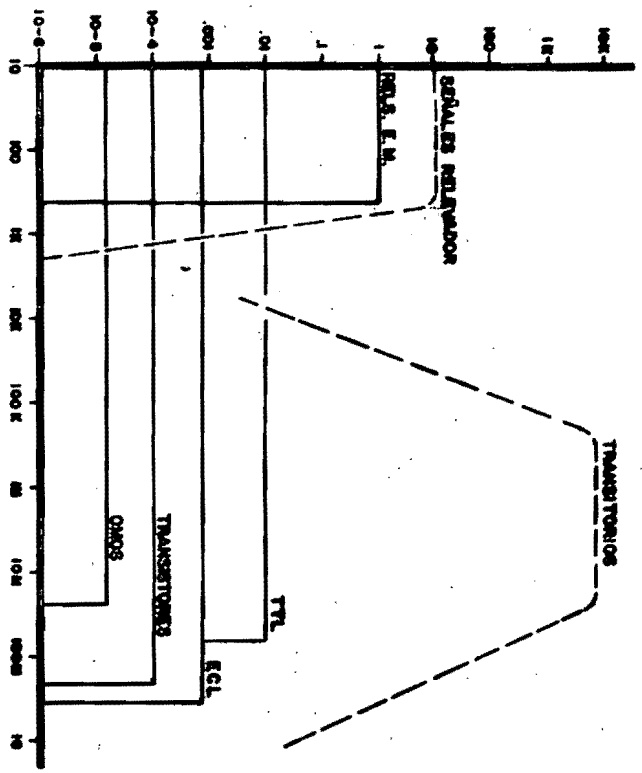


FIG. 11 RESPUESTA DE RELEVADORES Y DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES.

### III. CONTROL DE LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA.

#### 3.1 EN EL DISEÑO DE LOS RELEVADORES

##### 3.1.1 Por medio de Filtros

Los relevadores de protección obtienen la información de las condiciones en los sistemas de potencia por medio de señales de corriente y voltaje proporcionados por TC's y TP's o TPC's. Otras entradas de estado son proporcionadas por contactos de interfaz.

Como se vio en el espectro de frecuencia, la banda de frecuencia requerida para proporcionar la información básica para los propósitos de protección, no es grande sino de unos cuantos KHz.

Los relevadores electromagnéticos (E.M.) han proporcionado adecuada protección, desde este punto de vista, ya que sus características de operación son de baja respuesta con respecto a la banda de frecuencia.

Los dispositivos semiconductores que forman parte del ensamble de los sistemas de protección, son sensitivos a la banda de frecuencia ancha. Ellos pueden realmente responder a la presencia de interferencia electromagnéticas aún con muy pequeñas magnitudes. Como se vio en el espectro de frecuencia, la interferencia electromagnética es más fuerte a medida que las frecuencias son más altas que aquellas requeridas para propósitos de protección, es decir, hay una diferencia significativa en contenido de frecuencia y esto es importante, porque proporciona bases excelentes para discriminación entre interferencias electromagnéticas no deseadas y señales de entrada deseadas por el uso de técnicas de filtrado. Se usan filtros pasabajo para este propósito y se llaman filtros contra transitorios o contra interferencias electromagnéticas y se colocan en las entradas y salidas de los relevadores de estado sólido.

Un diagrama de un filtro típico se muestra en la figura 12a y en la figura 12b, está surespuesta en frecuencia. Este filtro desecha frecuencias arriba de 100 KHz con muy poca atenuación.

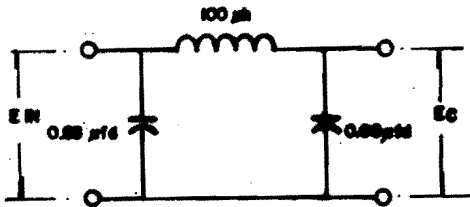


FIG.12.a

DIAGRAMA TÍPICO DE UN FILTRO CONTRA TRANSITORIOS.

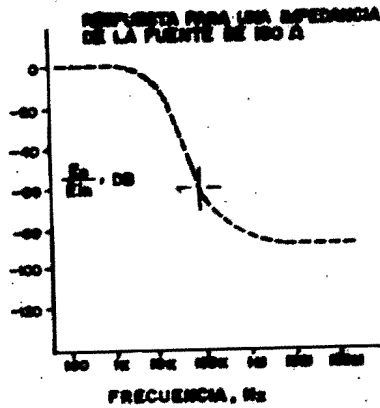


FIG.12.b  
RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL  
FILTRO DE LA FIG.12.a



### 3.1.2 PROTECCION CONTRA EL TRANSITORIO RAPIDO

Idealmente, es mejor proteger los equipos contra el transitorio rápido que prevenir la generación de éste. En muchos casos, esto se puede complementar conectando un varistor de óxido de metal u otros medios de supervisión a través de la bobina generadora. Esto previene la generación del voltaje suficiente para causar que los contactos reenciendan e inicien el transitorio rápido; el varistor debe estar protegido para disipar la energía almacenada en la bobina. Otros medios de supresión incluyen un resistor, con un diodo invertido en serie, en paralelo con la bobina. En este caso, el diodo debe estar protegido contra transitorios, rápidos de otras fuentes. Cuando se aplica supresión en la fuente, el diseñador debe considerar el posible incremento en el tiempo de reposición del relevador problema. Aún cuando una fuente de transitorio rápido - particular se extinguió, hay otras cercanas que pueden no ser posible suprimirlas.

En situaciones donde no es práctico prevenir la generación del -- transitorio rápido, los dispositivos afectados como diodos semiconductores, rectificadores, etc., pueden protegerse contra daño conectándoles pequeños capacitores de disco de cerámica de aproximadamente 0.01 a 0.05 microfarads, a través del componente. Es importante conservar las terminales de conexión tan cortas como sea posible, de preferencia menores que una pulgada.

los capacitores protectores permiten que la corriente del transitorio rápido, no influya a través del diodo. La duración de corto tiempo del transitorio produce únicamente unos cuantos volts a través del diodo como un resultado de la carga integrada en el capacitor.

### 3.2 EN EL DISEÑO DE LA SUBESTACION.

### 3.2.1 INTRODUCCION

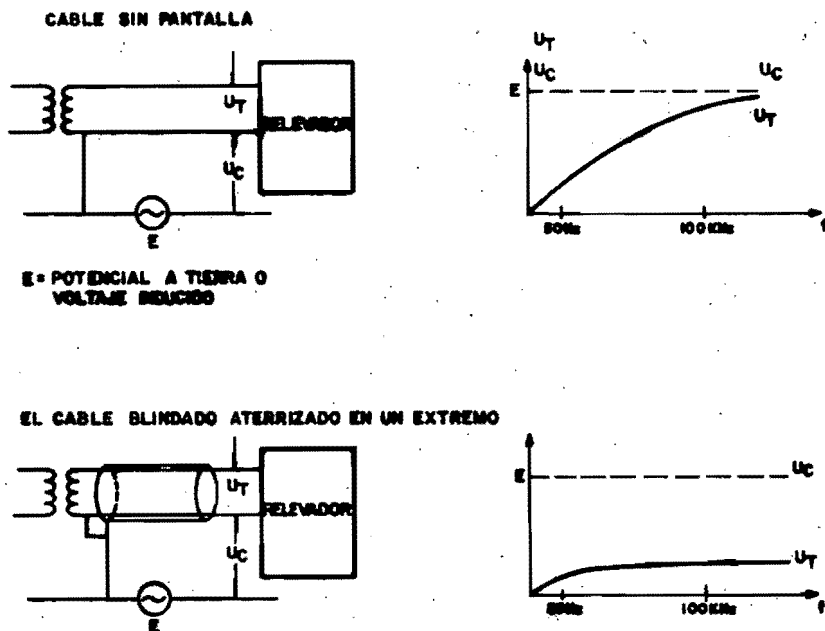
A éste aspecto se le dio mucha importancia en la década de los 70's, se han publicado varios papeles técnicos de las pruebas de campo hechas con el fin de determinar el efecto de los buses y configuraciones de los cables de control en la interferencia-acoplada y conducida durante varias operaciones switcheo. Ahora con mejores equipos de instrumentación avanzada, se han obtenido datos sobre los campos transitorios radiados en las subestaciones.

Usando el estudio de los arreglos físicos de la subestación y su efecto el acoplamiento de interferencia en los circuitos de control, combinado con la experiencia de muchas instalaciones de los nuevos equipos de control y protección de estado sólido, la industria ha desarrollado lineamientos que pueden usarse en el diseño de nuevas subestaciones para controlar el ambiente de la interferencia electromagnética a niveles compatibles con los niveles de las pruebas para equipos de estado sólido, especificado de acuerdo con la norma ANSI C37.90 e IEC 254-4. Un buen resumen de esas aproximaciones se encuentra en IEEE 525-1978, titulado "IEEE Guide for Selection and Installation of Control and Low Voltage Cable Systems in Substations". Esta norma también incluye una bibliografía excelente sobre este tema.

### 3.2.2 TIPOS DE CABLE DE CONTROL

- a) Cable Trenzado.- Para reducir las tensiones inducidas de modo transversal, es benéfico utilizar cables con conductores trenzados individualmente pares de conductores trenzados no es necesario.
- b) Cable de Control -- Cables blindados con la pantalla aterrizada en ambos extremos son medios efectivos para reducir las interferencias electromagnéticas transitorias en los circuitos-  
Blindados.-

de control. El blindaje no debe ser parte de la señal del circuito.



La figura 13 muestra el efecto de la pantalla de los cables y como se comporta la puesta a tierra de la pantalla para tensiones inducidas de diferente frecuencia de las figuras, se puede ver que con pantalla aterrizada en un extremo la tensión transversal  $U_t$  se reduce pero no la tensión de modo común.

Con la pantalla aterrizada en ambos extremos, tanto la tensión de modo común como de modo transversal se reducen a altas frecuencias. A baja frecuencia la tensión transversal es hasta cierto punto incrementada comparada con el cable sin pantalla.

EL CABLE BLINDADO ATERRIZADO EN AMBOS EXTREMOS

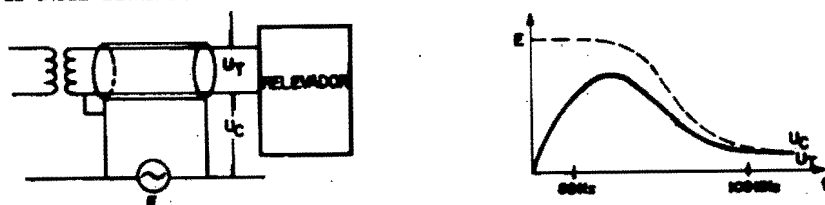


FIG.13 CABLES BLINDADOS

En la vecindad de los conductores de alta tensión las distorsiones más serias son los transitorios de alta frecuencia acoplados inductivamente y conductivamente. Por lo tanto, cuando se usan cables con pantalla en las subestaciones, la pantalla se debe aterrizar en ambos extremos.

Una pantalla aterrizada en ambos extremos es un conductor paralelo al sistema de tierras y llevará una porción de la corriente de falla para fallas a tierra. La conexión de la pantalla tiene que dimensionarse para esta corriente que puede ser aproximadamente de  $370 \text{ amperes/mm}^2$ , cuando un conductor de tierra paralelo está llevando  $200 \text{ amperes/mm}^2$ . Los valores anteriores se dan como una indicación de la magnitud de la corriente y no como una recomendación para el diseño; en seguida se agrega la especificación del cable de control blindado.

Además, la capacitancia de fuga a tierra, relativamente alta, tanto de los TP's como los TC's, producen tensiones de alta frecuencia de varios KV a través de las conexiones del transformador a la red del sistema de tierras. Esta tensión somete a esfuerzos al aislamiento de los devanados secundarios que están aterrizados en otro punto de la red del sistema de tierras; ver figura 13. Empleando cable de control blindado con la pantalla aterrizada en ambos extremos entre la caja de registro y los transformadores de

medición de cada fase, estos últimos quedan protegidos contra flá meos internos. Esta protección es de interés especial cuando se usan relevadores de alta velocidad, los cuales, pueden funcionar-erróneamente debido a estos flameos.

#### IV. LINEAMIENTOS EN EL DISEÑO DE SUBESTACIONES.

##### 4.1 INTRODUCCION

El diseño de los circuitos de control, protección y medición en las subestaciones modernas debe incluir medios para reducir inter-ferencias no deseadas a niveles tolerables. Como se analizó en - la primera parte, la interferencia más significativa es la que - proviene de los transitorios de las barras de alta tensión como resultado de maniobras y fallas. Los voltajes de transmisión de potencia se han incrementado en los últimos años, los niveles de voltaje de las señales de control y alimentación de potencia de - baja tensión han tendido a permanecer constantes o aún a decrecer.

Ya que la interferencia inducida se incrementa a medida que aumen- tan los voltajes, la relación de señal no deseada (ruido) a señal útil será incrementada si no se toman precauciones para las pro- tecciones de estos circuitos.

Los voltajes transitorios en cables de control no pueden eliminar- se completamente pero pueden limitarse en magnitud. Un límite su- gerido, para que haya compatibilidad con los sistemas de protec- ción de estado sólido, es reducir el pico del transitorio a la - magnitud que marca la prueba de norma (SWC). Separadamente, otras soluciones se pueden dar para reducir la magnitud del transitorio, dependiendo de aspectos económicos y configuración del equipo - primario, como se analizará más tarde.

De las condiciones básicas descritas en la primera parte, se puede decir que hay factores de diseño que influyen en la presencia de transitorios en subestaciones de extra alta tensión (EAT). Estos son:

1. La presencia o ausencia de dispositivos de amortiguamiento de transitorios en los aparatos de switcheo de los circuitos de EAT o en los circuitos de control.
2. La relación física entre los circuitos de EAT y los circuitos de control o entre un circuito de control y otro circuito de control. Esto determina el acoplamiento.
3. El diseño del equipo de protección y control y cual es su respuesta a los diferentes tipos de transitorios.

El primer factor depende únicamente de la factibilidad técnica y económica. Generalmente la supresión directa de transitorios se logra en los circuitos de bajo voltaje, tales como los circuitos de control. El segundo factor depende fundamentalmente de la ubicación del equipo primario de la SE con respecto a los circuitos de control. Finalmente, el tercer factor esta bajo el control del diseñador del equipo.

Los fabricantes de relevadores, han reconocido la importancia de contar con un alto grado de inmunidad a estas fuentes y han tenido importantes progresos en este sentido.

## 4.3 IMPORTANCIA DE LAS NORMAS

Limitaciones de diseño indican que no es ni técnica ni económicamente factible contruir equipo de protección que sea inmune a los más altos niveles de transitorios que se puedan presentar en las subestaciones de EAT. Tampoco es práctico contruir una subestación de EAT que esté completamente libre de transitorios y de problemas de acoplamiento de los mismos. Se deben definir valores prácticos de transitorios en

el ambiente y niveles de inmunidad de transitorios. Importantes comités técnicos del IEEE están trabajando con este objetivo y se han realizado importantes progresos.

#### 4.4 LINEAMIENTOS

La sobretensión transitoria bajo todas las condiciones de operación incluyendo operaciones de maniobra y fallas, suele ser de una magnitud más baja que la capacidad del equipo de protección contra estas tensiones. El nivel del transitorio primario en una subestación, no es directamente proporcional a la tensión de operación. Pruebas de campo han demostrado que en tensiones de 44 KV se presentan las mismas tensiones transitorias que aparecen en una subestación de 400 KV. Naturalmente que influir el tipo de construcción de la subestación, por ejemplo con arreglos blindados (metal clad) o subestaciones encapsuladas en SF<sub>6</sub>, el nivel de los transitorios es bajo. El nivel de los transitorios en subestaciones del tipo abierto o convencional, es una función de la red del sistema de tierras, por lo que se tiene que tener mucha atención en esto último.

Se deben seguir las siguientes reglas generales para subestaciones metal clad y subestaciones del tipo abierto, para todos los niveles de tensión.

##### 4.4.1 LOCALIZACION FISICA.

###### a) Trayectoria del Cable de control abajo de las Barras

Los diseñadores de futuras subestaciones de EAT y UAT deben conocer ampliamente todos los factores que incluyen en el problema de los transitorios. Deben tomar en cuenta que hay dos sistemas de alambrado:

**CIRCUITO DE POTENCIA.**- Estos incluyen las barras y aparatos de alta tensión, circuitos primarios de los transformadores - de instrumento y todos los equipos que trabajan a alto voltaje, tales como apartarrayos, gaps, etc. También debe incluir la red de tierras, y todos los equipos que se ponen a tierra, así como capacitancias a tierra.

**CIRCUITO DE CONTROL.**- Estos circuitos incluyen todos los secundarios de los TC's, TP's y TPC's, todas las alimentaciones de corriente directa, el control con corriente directa planta de emergencia de corriente alterna y los circuitos de los relevadores de protección, supervisión, alarmas y comunicación. Normalmente estos circuitos operan a potenciales de algunos cientos de volts o menos.

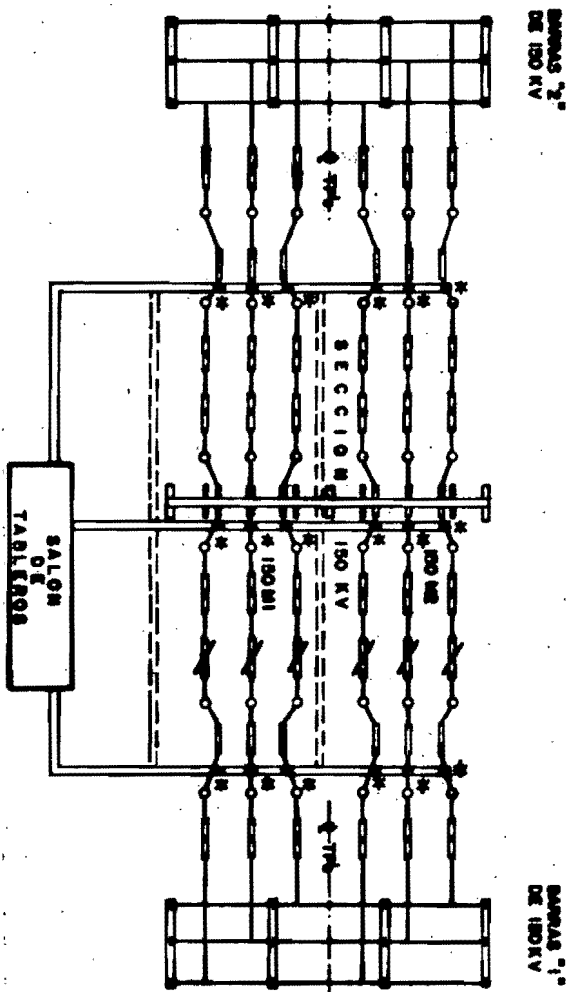
Ambos sistemas de alambrado se localizan muy cerca unos de otros. En subestaciones grandes de EAT, los cables de control por lo general de longitudes largas con objeto de conectar los diversos aparatos. Si estos cables siguen una trayectoria paralela abajo de las barras, existirá un gran acoplamiento de los campos eléctrico y magnético producidos por las barras y equipo primario. Esta disposición se deberá evitar hasta donde sea posible. Cuando los cables de control deban pasar por debajo de las barras, deben seguir una trayectoria en ángulo recto con respecto a las barras o bahía del equipo primario; ver figura 14.




Cuando por alguna razón se requiere la trayectoria de los cables de control paralela a las barras en una distancia apreciable, entonces los cables deberán separarse de las barras lo más posible para disminuir el acoplamiento. Es recomendable usar una separación igual a la longitud de la trayectoria en paralelo.

Cables de potencia (arriba de 1000 volts) de alta tensión y cables secundarios deberán tener diferentes trincheras o charolas.



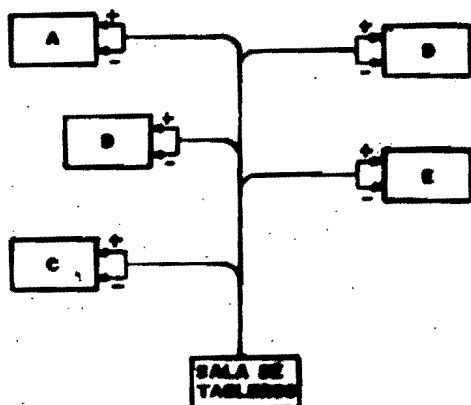
FIG.14 TRINCHERA PARA CABLE DE CONTROL

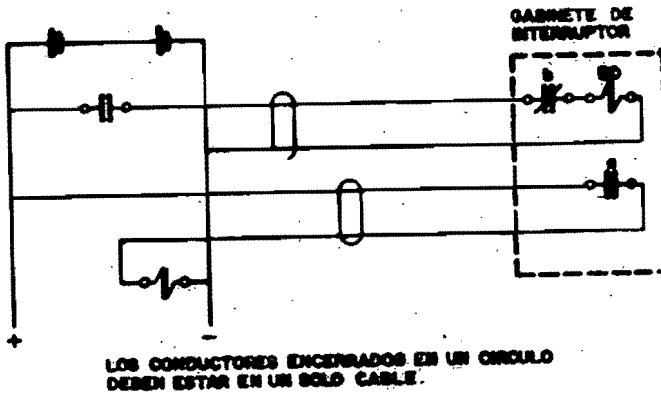


-  RUTA CORRECTA
-  RUTA INCORRECTA
-  POSICION DE CABLE MAX. DE INTERRUPTOR

**b) CONCEPTO RADIAL.**

Se recomienda usar el concepto radial para los circuitos de control, o sea que los conductores de ida y de retorno de un circuito se deben llevar en un mismo cable de control. Los lazos (loops) en los circuitos deben evitarse, ya que cuando se tienen circuitos conductores en cables diferentes, el acoplamiento inductivo del lazo formado por los cables dará una tensión de modo transversal considerable; como un ejemplo, la figura 15 muestra la idea general del concepto radial y la figura 16 muestra un ejemplo en particular.

**FIG.15 CONCEPTO RADIAL**



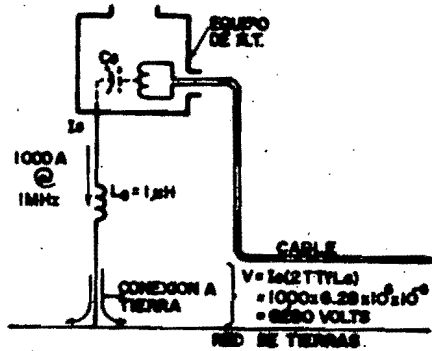
**FIG.16 EJEMPLO DE UN CIRCUITO DE C.D.**

**c) RUTA DEL CABLE DE CONTROL CERCANA A CONEXIONES A TIERRA O RED DE TIERRA.**

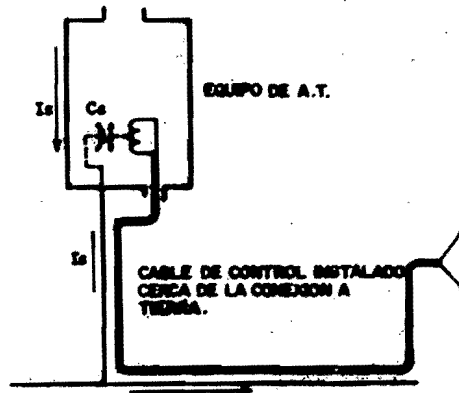
La localización física relativa de un cable de control con los conductores de potencia y de tierra en la subestación, puede provocar que fluyan corrientes transitorias de alta frecuencia determinadas por el grado de acoplamiento, por lo tanto se inducen voltajes en los propios circuitos de control.

La puesta o conexión a tierra de los aparatos de alta tensión, generalmente conduce corrientes transitorias de alta-frecuencia muy intensas a la red de tierras de la subestación.

Los cables de control conectados a los mismos equipos primarios pueden tener acoplamiento de campos magnéticos en esta región. Esto se ilustra en la figura 17; sin embargo, existe diferencia con la figura 18, en ésta, el cable de control tiene una ruta muy cercana al conductor de tierra de tal manera, que existe un pequeño espacio entre ellos. Esto provoca que se reduzca en gran medida los eslabonamientos de flujo magnético comunes entre el cable de control y el de tierra.



**FIG.17 ACOPLAMIENTO CON LA CONEXION A TIERRA.**



**FIG.18 REDUCCION DEL ACOPLAMIENTO.**

Este es un camino efectivo para minimizar la común IEM.

Localizando los cables de control paralelos y a una distancia corta de los conductores del sistema de tierras, se reduce la inductancia mútua y por consiguiente, la distorsión de la tensión, o de otra forma localizando los conductores del sistema de tierras cerca de las trincheras de los cables de control, se puede reducir a la décima parte la tensión inducida. Se recomienda que toda trinchera de cable con una longitud del orden de 20 metros, se acompañe de un conductor robusto de tierra cercano a la trinchera, pero no dentro de la trinchera ya que se provocaría daños térmicos a los cables.

## 4.2 A T E R R I Z A M I E N T O .

El diseño del sistema de tierras, los métodos de puesta a tierra de los equipos, y el blindaje de los circuitos de control tienen gran influencia para reducir los voltajes transitorios- los cuales en los equipos de protección.

La red de tierras, aún cuando se diseñe con muy baja resistencia, no se puede considera como una superficie equipotencial. Pueden ocurrir importantes diferencias de potencial en la red de tierras y esto depende de varios factores como son: resistencia de la malla, resistividad del terreno y frecuencia del transitorio.

Ya que es impráctico eliminar diferencias de potencial en la red de tierras, sus efectos se deben neutralizar. La neutralización que de mejorarse acompañando conductores de baja resistencia en la proximidad de los circuitos de control afectados. Tales conductores conducirán corrientes proporcionales a las diferencias de potencial de la red de tierras e inducirán un voltaje opuesto en los cables de control, efectuando así la neutralización.

Los siguientes son métodos de neutralización y aterrizamiento, los cuales han demostrado ser efectivos:

- 1.- Se deben instalar cables de tierra en las trincheras colocados a los lados y en la parte superior. Esto coloca a los cables de tierra entre la fuente del transitorio y los cables de control. Estos cables de tierra deben tener conductividad para conducir las corrientes de falla sin daño y tener resistencia mecánica adecuada.

- 2.- Se debe instalar un conductor de tierra alrededor de las cajas de registro de los diferentes equipos, conectado por lo menos de dos puntos a la red de tierras. Esto es con el fin de proporcionar un medio conveniente para aterrizar el blindaje de los cables de control.
- 3.- Donde se usen ductos, se deben incluir un mínimo de dos cables de tierra en la parte superior de los ductos.
- 4.- Para cables de control directamente enterrados, se deben enterrar varios conductores como blindaje con cada cable tendido. Por conductividad equivalente, son más efectivos varios conductores de blindaje pequeños que un solo conductor de gran calibre.
- 5.- Los secundarios de los transformadores de instrumento, únicamente se deben conectar a tierra en un punto. La conexión a tierra debe ser en el tablero donde se localizan los relevadores, teniendo las siguientes ventajas:
  - a) Se reduce la elevación de potencial en las cercanías de los bornes del relevador.
  - b) El riesgo al personal de un choque eléctrico en el salón de tableros se reduce.
  - c) Todas las conexiones a tierra se localizan en un solo lugar, facilitando aspectos de verificación y pruebas.
- 6.- Los conductores que funcionan como blindaje son efectivos tanto para cables con pantalla como sin pantalla. Y para aumentar su efectividad deben estar lo más cerca posible de los cables de control, particularmente en donde se emplean cables de control sin pantalla.

#### 4.4.3 BLINDAJE METALICO DE LOS CABLES DE CONTROL.

Las pantallas metálicas de los cables de control pueden reducir voltajes transitorios inducidos. Cuando se utiliza la pantalla magnética en cable de control se recomienda conectar a tierra la pantalla en ambos extremos. Se debe poner cuidado en mantener la pantalla intacta ya que de lo contrario, una pantalla rota o desprendida, puede reducir grandemente su eficacia. Si solo se conecta a tierra un extremo de la pantalla, se puede presentar en el extremo no aterrizado un fuerte transitorio de pantalla a tierra y de conductor a tierra.

El aterrizaje de la pantalla en ambos extremos permite fluir corriente en la pantalla. Esta corriente de pantalla tenderá a cancelar el flujo creado por la corriente de pantalla. El efecto neto de la pantalla de la línea es reducir el nivel de ruido.

Mientras más baja sea la impedancia del blindaje, más grandes es la cantidad de voltaje transitorio cancelado, debido al gran flujo de corriente. Generalmente una impedancia característica baja, permite corriente transitorias de inducción más grandes que fluyen en el blindaje.

En una subestación de switcheo donde puede haber grandes corrientes de falla a tierra, se presenta un problema cuando el blindaje se pone a tierra a distancias muy largas o sea, que los extremos son muy largos. La diferencia de potencial a la frecuencia del sistema entre las dos localizaciones de tierra durante una falla, puede causar suficiente corriente para fluir en el blindaje y dañar al cable. Por lo tanto, es recomendable instalar un conductor robusto, por ejemplo, 4/0 AWG, o mayor, en paralelo a lo largo al cable de control en la misma ruta y conectándolo a tierra en los mismos puntos donde el blindaje del cable está aterrizado. Lo anterior protege al blindaje ya que reduce el flujo de corriente en la pantalla.

Para circuitos de bajo nivel de señal de voltaje, el blindaje no debe ser parte de la señal del circuito, así mismo nunca se debe aceptar el uso de una línea común de retorno para señal de bajo voltaje y un circuito de potencia.

Si se requieren pantallas electrostáticas, deberán estar dentro del blindaje exterior.

Los circuitos de potencia de baja tensión no se deben instalar sin un blindaje adecuado, cerca de grupos de capacitores en derivación.

La experiencia ha demostrado que en subestaciones de alto voltaje y EAV, se deben tomar las precauciones necesarias para reducir los transitorios en los cables de potencia de baja tensión, además de los circuitos de control.

Los transformadores de potencial capacitivos (TPC); requieren especial consideración. Pueden producir altos voltajes secundarios-transitorios de uso común debido a la alta impedancia característica que existe entre la base del TPC y la red de tierras. Se puede reducir éste voltaje, reduciendo la impedancia característica, lo que se logra montando los TPC's cerca de tierra e instalando múltiples conductores de baja resistencia entre la base y el sistema de tierras de la S.E. Todos los circuitos secundarios de los TPC's, deben ser radiales y estar contenidos dentro de un mismo cable blindado para suministrar la cancelación de las diferencias de potencial de la red de tierras. Los cables secundarios deben seguir el conductor de tierra tan cerca como sea posible.

#### **4.4.4 AGRUPAMIENTO.**

Todas las alimentaciones y conductores de retorno deben estar en su cable común para evitar posibles inducciones electromagnéticas-debido al eslabonamiento de flujos magnéticos muy fuertes.



Se deben agrupar cables que conecten a equipo que tengan sensitividades comparables, por lo que cables de instrumentación de bajo nivel; deben estar separados físicamente de los de potencia de bajo voltaje por una distancia máxima práctica.

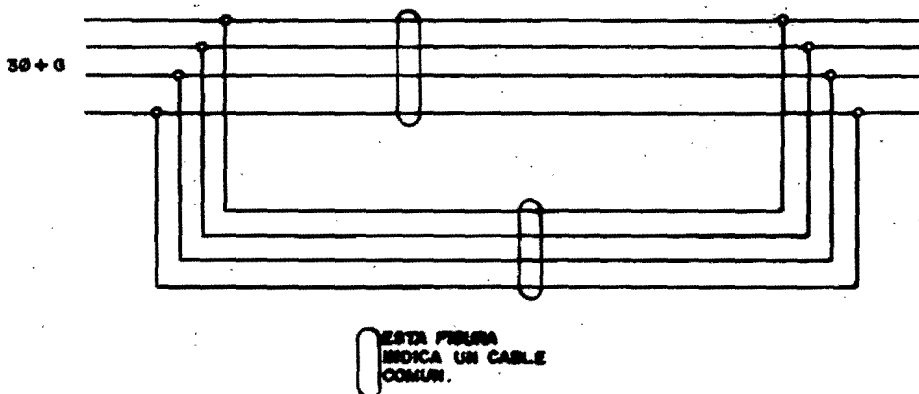
Cuando es necesario emplear cables en paralelo, se debe usar un diseño como el de la figura 19.

Se debe de evitar la mezcla de circuitos de medición de corriente y potencial en un solo cable, debido a que el acoplamiento inductivo aumenta entre pares de un mismo cable.

Se debe evitar la puesta a tierra de conductores sobrantes en un cable de control. Los circuitos de control separados que tienen conductores en un mismo cable, pueden experimentar acoplamientos magnéticos y capacitivos considerables. La solución es separar los cables por tipos. Por ejemplo:

- a) Circuitos de corriente directa y circuitos secundarios de corriente alterna, no deben estar en un mismo cable.
- b) El servicio de estación de C.A. no debe estar en el mismo cable con ningún otro.
- c) ETC.

Cuando es necesario instalar cables no similares que corran en paralelo por pequeña que sea la distancia, éstos deben separarse tanto como sea posible; si ésto no se puede, alguna clase de blindaje metálico aterrizado es necesario entre ellos.

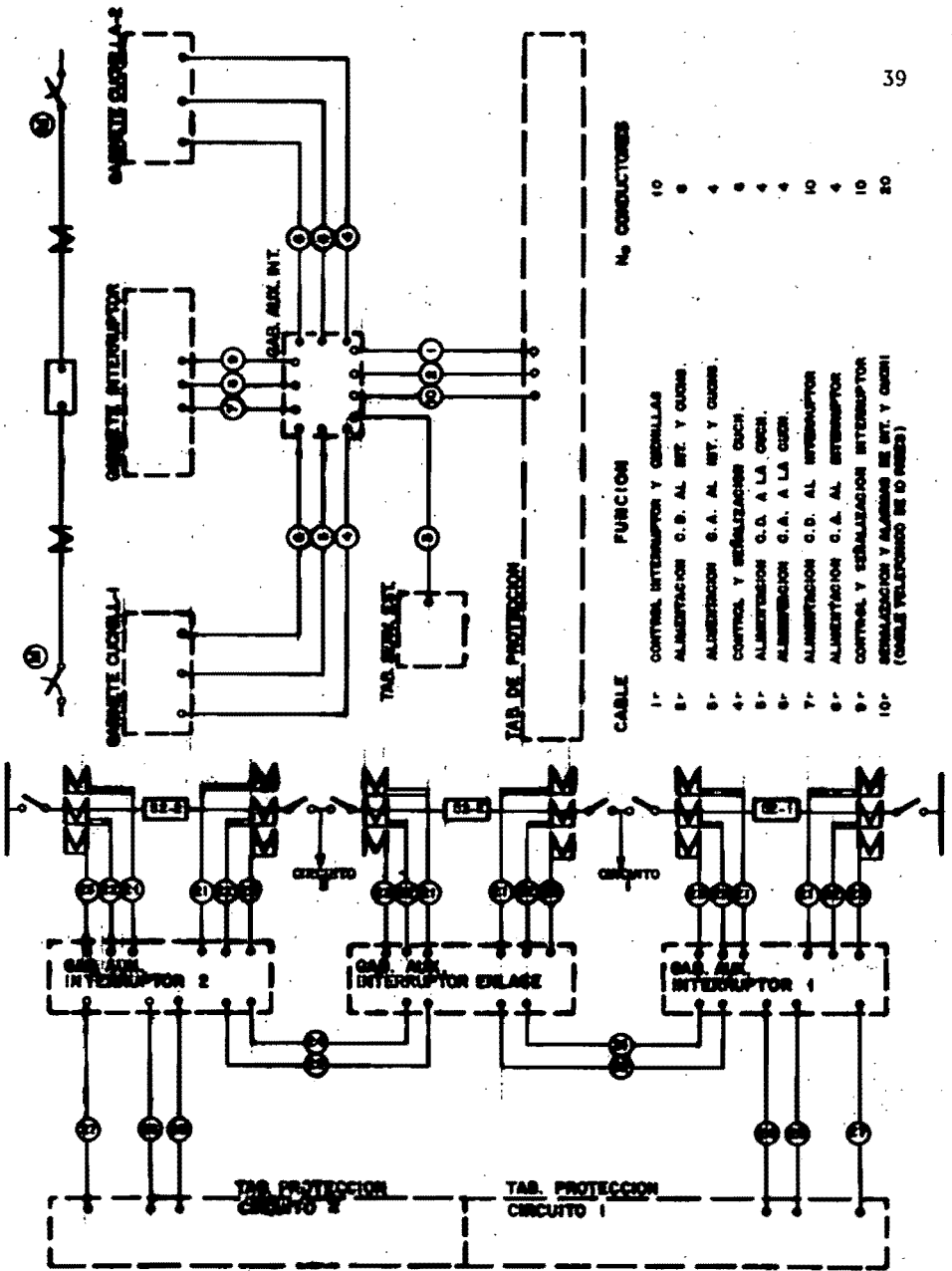


**FIG.19** CIRCUITOS DE CABLES PARALELOS EN UN TC. O T.P.

Las siguientes figuras muestran un posible agrupamiento para una bahía de interruptor y medio que puede ser de 115,230 ó 400 K.

En estos se muestran los diferentes agrupamientos como por ejemplo: el control de un interruptor y sus cuchillas asociadas, incluyendo las alimentaciones de C.D. y C.A.; alarmas y estados de los elementos. Otro ejemplo es el agrupamiento de los circuitos secundarios de los TC's.

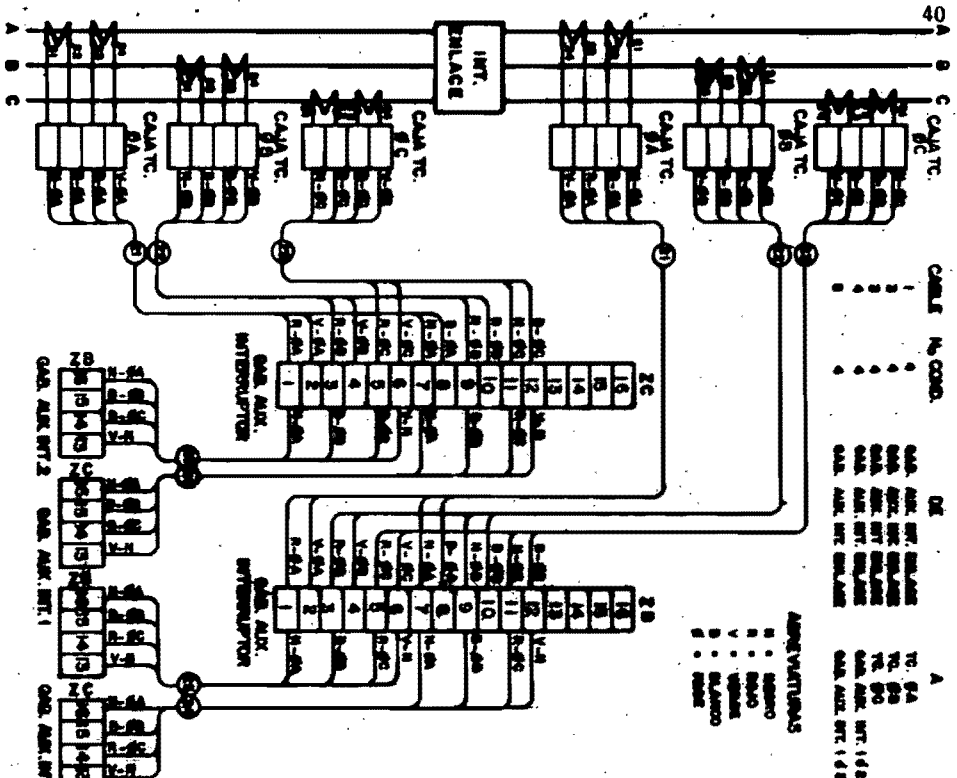
La filosofía empleada está sobre la base de instalar un gabinete auxiliar de interruptor con el fin de concentrar en un lugar todas las alimentaciones de un interruptor y sus cuchillas asociadas, incluyendo circuitos secundarios de TC'S. Esto nos permite una cantidad menor de cables de control al tablero.



CABLE	FUNCION	Nº CONDUCTORES
1*	CONTROL INTERRUPTOR Y CERRILLAS	10
2*	ALIMENTACION C.B. AL INT. Y CUCHI	6
3*	ALIMENTACION G.A. AL INT. Y CUCHI	4
4*	CONTROL Y SEÑALIZACION CUCHI	4
5*	ALIMENTACION C.D. A LA CUCHI	4
6*	ALIMENTACION G.A. A LA CUCHI	4
7*	ALIMENTACION C.B. AL INTERRUPTOR	10
8*	ALIMENTACION G.A. AL INTERRUPTOR	4
9*	CONTROL Y SEÑALIZACION INTERRUPTOR	10
10*	SEÑALIZACION Y ALARMAS DE INT. Y CUCHI (CABLE TELEFONICO DE 10 PARES)	20

CABLE	FUNCION	Nº DE CONDUCTORES
21	TC FASE A	4
22	TC FASE B	4
23	TC FASE C	4
24	PARALELO TC PARA PROT. PRIMARIA	4
25	PARALELO TC PARA PROT. RESPALDO	4
27	TC PARA DEF. DE BARRAS	4
28	TC PARA PROT. PRIMARIA	4
29	TC PARA PROT. RESPALDO	4





**CALLS No. COIN.**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

**DE**

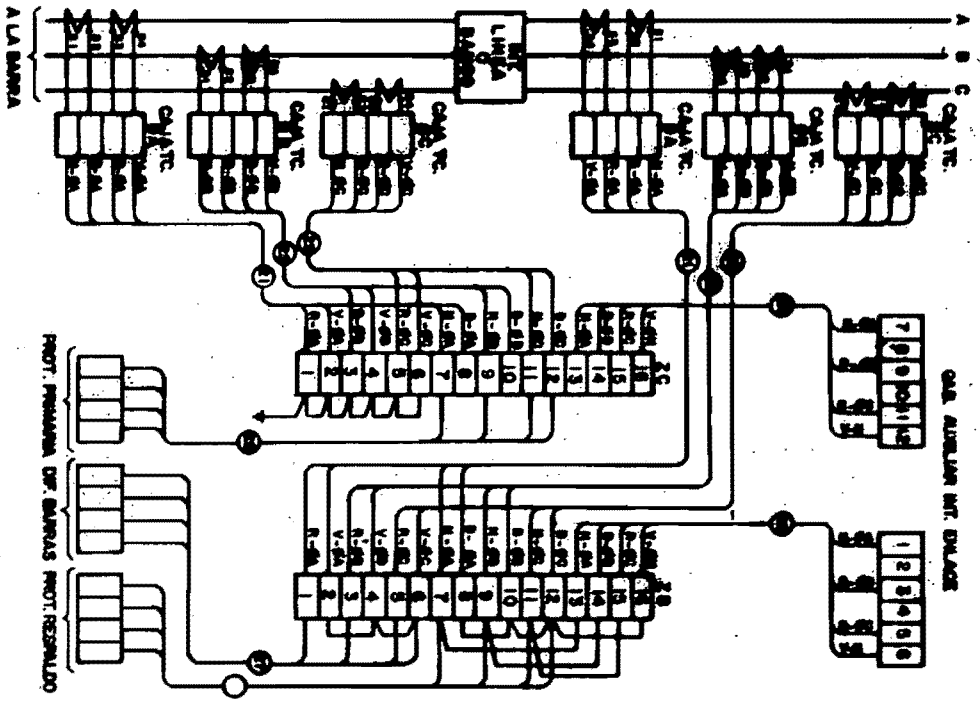
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

**A**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

**ADJUSTMENTS**

- RESISTOR
- CAPACITOR
- V. COIL
- BATTERY
- RELAY
- MOTOR



**CALLS**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

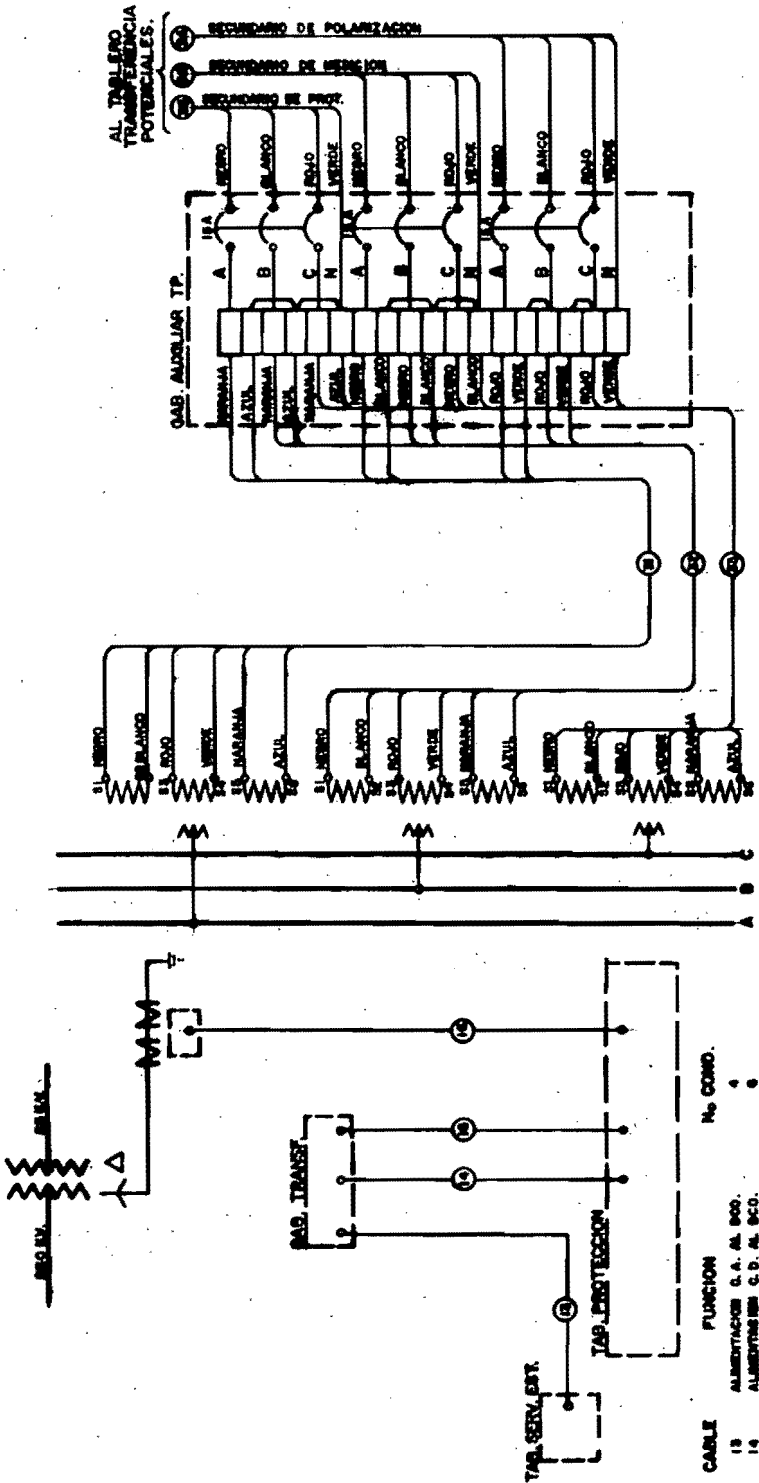
**DE**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

**A**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

PROT. PAVANNA DIR. BARBARA PROT. RESULLO



CABLE	FUNCION	Nº CONDO.
13	ALIMENTACION C.A. AL DCO.	4
14	ALIMENTACION C.D. AL DCO.	6
15	ALARMA DCO.	8
16	TCS DEL NEGRO	6

#### 4.5 ESPECIFICACIONES PARA CABLE DE CONTROL CON PANTALLA -- ELECTROSTATICA.

##### A. GENERALIDADES

Las presentes especificaciones deben aplicarse a la fabricación de cables de control con calibres del No. 4 al No. 12 AWG y de 2 a 10 conductores, según indique en el pedido correspondiente.

Para la fabricación de cada uno de los conductores debe usarse cable concéntrico de 7 hilos, clase B. de acuerdo con las normas ASTM-B8.

El aislamiento de estos conductores debe ser polietileno de baja densidad y alto peso molecular, con elevada rigidez dieléctrica que le permita soportar transitorios elevados.

La clase de aislamiento de los cables debe ser 1000 volts.

Debe usarse una cinta separadora de material no higroscópico sobre la reunión de los conductores aislados y sobre ésta una cinta de cobre traslapada, para el blindaje electrostático.

La cubierta exterior debe ser de cloruro de polivinilo.

la fabricación de cada uno de los componentes del cable y el producto terminado debe estar de acuerdo con las Normas -----  
CCONNIE IC. 3-7-1969 e IPCEA-5402, NEMA WC5.

##### B. CARACTERISTICAS MECANICAS Y ELECTRICAS

Las propiedades mecánicas del aislamiento deben cumplir como mínimo con lo establecido en las normas citadas en el párrafo anterior.

El espesor promedio del aislamiento no debe ser menor que el requerido en la Tabla I anexa, con un valor mínimo del 90 % del espesor nominal correspondiente.

El blindaje electrostático debe formarse con una cinta de cobre con un espesor nominal de 0.12 mm. con una tolerancia de  $\pm 15\%$  y traslapada entre un 25 y un 30 %.

Las propiedades mecánicas de la cubierta exterior no debe ser menor que el requerido en la Tabla II anexa, con un valor mínimo de 70 % de los valores indicados en la tabla.

Las propiedades eléctricas del aislamiento deben demostrarse de acuerdo con lo establecido en las Normas CCONNIE 10.3-7-1969.

#### C. IDENTIFICACION DE LOS CONDUCTORES

Para efectos de instalación los conductores deben identificarse de acuerdo con el Código de Colores de la Tabla III de las Normas CCONNIE antes mencionadas.

#### D. EMPAQUE

El empaque debe hacerse en carretes de madera de 500 metros de cable  $\pm 5\%$  de tal manera que proteja debidamente al producto.

Sobre la longitud total de un pedido se aceptará una tolerancia de  $\pm 10\%$

#### E. METODO DE PRUEBA

Los métodos de prueba deben estar de acuerdo con lo que establecen las citadas normas CCONNIE en el Capítulo 3, incisos 3.1 a 3.4

#### F. LUGAR DE INSPECCION

Todas las pruebas e inspecciones se deben efectuar en el lugar de manufactura a menos que se especifique otra cosa en el pedido de compra.

El fabricante debe dar al inspector del comprador todas las facilidades razonables, sin cargo, para que compruebe que el material ha sido fabricado de acuerdo con estas especificaciones.

Si el fabricante es extranjero debe, a solicitud del comprador, expedir un certificado protocolizado de calidad que ampara el lote motivo de la transacción comercial, y si el comprador lo juzga necesario pedirá los resultados de las pruebas efectuadas en dicho lote.

#### G. M A R C A D O

El conductor debe poseer en toda la longitud de su aislamiento las marcas o identificaciones convenientes, así como la firma que lo fabrique.

**N O T A :** Las siglas ASTM corresponden a las especificaciones de la American Society For Testing and Materials y las siglas IPCEA-NEMA corresponden a las especificaciones Insulated Power Cable Engineers Association-National Electrical Manufacturers Association.



## T A B L A I

ESPELOR DE AISLAMIENTO  
1,000 VOLTS

ESPELOR m.m.	PRUEBAS DE VOLTAJE C.C.	CALIBRE AWG
1.14	4,500	12
1.14	4,500	10
1.14	4,500	8
1.40	7,000	6
1.40	7,000	4

## T A B L A II

ESPELOR DE LA CUBIERTA EXTERIOR SOBRE LA PANTALLA METALICA

Diámetro calculado sobre la pantalla m.m.	.....	EspeLor de la cubierta m.m.
HASTA	19.05	1.27
19.08	38.10	1.65
38.13	57.15	2.03
57.18	76.20	2.41
76.23	Y MAYOR	2.79

## V. CONCLUSIONES .

- 1.- El creciente uso de dispositivos y sistemas electrónicos, tales como relevadores de protección de estado sólido y otros equipos sensitivos de procesamiento de datos y de control, requieren creciente énfasis en lo que respecta a la compatibilidad electromagnética; esto es especialmente el caso de las subestaciones eléctricas de potencia donde los niveles de interferencia de potencial son extremadamente altos.
- 2.- Tanto la realización de diseños perfeccionados para los esquemas de protección, como los arreglos de la subestación, han contribuido a alcanzar la compatibilidad deseada. Esto se ha hecho sin sacrificar las ventajas de los sistemas más modernos de protección de estado sólido.
- 3.- El espectro de frecuencia de la interferencia es significativamente diferente del espectro de las señales de voltaje y corriente empleadas para protección, por lo que se debe usar técnicas de filtrado como solución primaria a los problemas de interferencia electromagnética.
- 4.- Los transitorios generados en los circuitos de control de bajo voltaje, son de alta velocidad y pueden dañar los semiconductores tipo avalancha.
- 5.- Transmisores de radio portátiles son capaces de causar falsas operaciones en equipos sensitivos de estado sólido.
- 6.- Los valores de las pruebas de norma, no simulan el rango completo del ambiente de la interferencia electromagnética, por lo que es necesario que en toda las subestaciones de alta y extra alta tensión se emplee cable de control blindado, debidamente aterrizado en ambos extremos.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Salvador Hernández González. Interferencia Electromagnética y los Relevadores de Estado Sólido.
- 2.- W.C. Kotheimer and L.L. Man Koff. Electromagnetic Interference and Solid State Protective Relays. General Electric Company. Mexican 1980 México, D. F.
- 3.- W.C. Kotheimer and L.L. Man Koff. Electromagnetic Interference and Solid State Protective Relays. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-96 No. 4, July/August 1977.
- 4.- EMI Consideration S. PASAR VII. King. of Prussia, PA. June 8-10, 1982.
- 5.- ASEA, RFA 1981-12-15 Edition 1. Relay circuits in high voltage power plants and substations.
- 6.- American National Standards Institute. Guide for surge-Withstand Capability (SEC) Tests. ANSI C37.90a - 1974. IEEE Std. 472-1974. July 15, 1974 (Supplement to ANSI/IEEE (37.90-1978).
- 7.- International Electrotechnical Commission Impulse Voltage Withstand Tests and High Frequency Disturbance Tests. IEC Std. 255-6 Appendix C 1976.
- 8.- G. Pellegrini-ENEL. Problemas de Compatibilidad Electromagnética en subestaciones de alta tensión.
- 9.- W.C. Kotheimer. The influence of station Design on Control Circuit Transients.

- 10.- General Electric. Theory of Shielding and Grounding of Control Cables to Reduce Surges.
- 11.- General Electric. Substation Transients and Solid State Controls.
- 12.- Grupo de trabajo 60.3 del IEEE del Comité de Subestaciones. Selection and Installation of Control and Low-Voltage Cable Systems in Substations.
- 13.- "Bibliography on Surge Voltages in AC Power Circuits - Rated 600 Volts and Less"; IEEE Surge Protective Devices Committee, IEEE, 69TP620-PWR IEEE PAS, vol. 89, pp. 1056-1061, July/August 1970.
- 14.- Birch, F. H., Burrows, G.H., Tumer, H.J. Experience With Transistorised Protection in Britain, Part II: -- Investigation into transient overvoltages on secondary-wiring at EHV switching stations. (CIGRE 1968 Report - No. 31-04).
- 15.- Borgvall, T., Holmgren, B., Sunden, D., Wistrom, T. and Norback, K., "Voltages in Substation Control Cables During Switching Operations", CIGRE 36-05, pp. 1-23, August 24, 1970.
- 16.- Buchingham, R.P. and Gooding, F.H., "The Efficiency of Non-Magnetic Shields on Control and Communication Cable", 69 TP 710 PWR, IEEE PAS, vol. 89, No.6, pp. 1091-1099, 1970.
- 17.- Dietch, Dienne, Wery, "Progress Report of Study Committee No. 4", (Protection and Relaying), Appendix II - Induced Interference in Wiring Feeding Protective Relays, CIGRE paper 31-01, Section 1968.
- 18.- Fillenberg, R.P., Cleaveland, G.W. and Harris, R.E., "Exploration of Transients by Switching Capacitors", 70 TP42-PWR, IEEE PAS, vol. 90, No. 1, pp. 250-260, January/February 1971.

- 19.- Gillies D.A., Rogers, E.J., "Methods for Reducing Induced Voltages in Secondary Circuits", IEEE PAS, vol. - 86, pp. 907-916 July, 1967.
- 20.- Gillies, D.F., Rogers, E.J., "Shunt Capacitor Switching-EMI Voltages, Their Reduction in Bonneville Power Administration Substations", IEEE Transaction Paper, T 74 - 190-5, February, 1973,
- 21.- Gillies, D.A., Rogers E.J., "Induced Transient Voltage-Reductions in Bonneville Power Administration 500 KV - Substations", IEEE C72-522-1.
- 22.- "Guide for Safety in Alternating Current Substation --- Grounding", AIEE No. 80, March, 1961.
- 23.- "Guide for the Design and Installation of Wire and Cable Systems in Power Generating Stations", Guide P422, Cable Working Group of Station Design Subcommittee of - IEEE Power Generation Committee.
- 24.- Hammerlund, B., "Noise and Noise Rejection Methods in - Control Circuits, particularly for H.V. Power Stations", IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium, pp. 216--227, July, 1968.
- 25.- "Insulation Level of Relay Control Circuits", AIEE --- Transactions, vol. 68, pp. 1255-57, 1949.
- 26.- "Protection Against Transients", Silent Sentinels, (Weg tinhouse), RPL 71-4, August 1971.