

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO  
DE INGENIERO EN LA ESPECIALIZACION DE  
ELECTROTECNIA DE LA ESCUELA POLITECNICA  
NACIONAL.

LOS SISTEMAS DE  
PROTECCION  
PARA ALTERNADORES  
Y SU APLICACION

:  
Luis Edgar Santos J.

-Quito-

Febrero - 1.970

CERTIFICO QUE ESTA TESIS FUE ELABORADA

POR EL SEÑOR LUIS EDGAR SANTOS J.



ING. JAIME VELASQUEZ  
Director de Tesis

INDICE GENERAL DE MATERIAS.

	pág.
1.) Generalidades . . . . .	1
1.1.) Misión de la protección en los alternadores . . . . .	2
1.2.) Condiciones de los equipos a proteger . . . . .	4
2.) Dispositivos de protección . . . . .	6
2.1.) Fallas propias del generador o defectos interiores . . . . .	6
2.1.1.) Cortocircuito entre fases . . . . .	8
2.1.2.) Cortocircuito entre espiras de una misma fase . . . . .	12
2.1.3.) Cortocircuito a tierra . . . . .	15
2.1.4.) Contactos a tierra del rotor . . . . .	18
2.1.5.) Pérdida de la excitación . . . . .	21
2.2.) Fallas provenientes de la carga o defectos exteriores . . . . .	24
2.2.1.) Sobreintensidad . . . . .	25
2.2.2.) Sobretensiones . . . . .	26
2.2.3.) Cargas desequilibradas . . . . .	27
2.3.) Fallas de otra clase . . . . .	29
2.3.1.) Sobrecalentamiento . . . . .	29
2.3.2.) Sobrevelocidad . . . . .	31
2.3.3.) Motorización del generador . . . . .	32
3.) Dispositivos de desexcitación . . . . .	34
4.) Selección y aplicación de dispositivos de protección . . . . .	37
4.1.) Protección para cortocircuito entre fases . . . . .	39
4.2.) Protección para cortocircuito entre espiras . . . . .	41
4.3.) Protección para cortocircuito a tierra . . . . .	42
4.4.) Protección para contacto a tierra del rotor . . . . .	42

	pág.
4.5.) Protección para pérdida de la excitación . . . . .	43
4.6.) Protección para sobreintensidad . . . . .	44
4.7.) Protección para sobretensión . . . . .	45
4.8.) Protección para cargas desequilibradas . . . . .	47
4.9.) Protección para sobrecalentamiento . . . . .	48
4.10.) Protección de sobrevelocidad . . . . .	50
4.11.) Protección de motorización del generador . . . . .	51
5.) Transformadores de medida . . . . .	52
5.1.) Elección de transformadores de intensidad . . . . .	53
5.2.) Elección de transformadores de tensión . . . . .	57
5.3.) Alimentación auxiliar de corriente continua . . . . .	60
6.) Selección y aplicación de sistemas de desexcitación . . . . .	64
7.) Conclusiones y recomendaciones . . . . .	66

INDICE DE CUADROS Y ESQUEMAS.

Fig.	Pág.
1 Instalación de relés de sobrecorriente para protección de cortocircuito entre fases . . . . .	9
2 Instalación de relés de sobrecorriente con transformadores de intensidad para protección de cortocircuito . . . . .	9
1 y 2 (a) Instalación de relés de sobrecorriente a tierra . . . . .	9
3 Instalación de relés de sobrecorriente cuando el punto neutro no es accesible al exterior . . . . .	9
4 Instalación de relés de sobrecorriente de voltaje restringido o controlado . . . . .	10
5 Instalación de protección diferencial . . . . .	11
6 Instalación de protección diferencial en alternadores con conexión en triángulo . . . . .	12
7 Instalación de relé de sobreintensidad en alternadores de devanados dobles . . . . .	13
8 Instalación de relés diferenciales en alternadores de devanados dobles . . . . .	14
9 Instalación de relé de protección de cortocircuito a tierra, cuando el punto neutro está conectado a tierra a través de una resistencia . . . . .	16
10 Cuadro indicativo del porcentaje de bobinado protegido en función de la corriente nominal de la resistencia . . . . .	16
11 Instalación de relé de protección de cortocircuito a tierra, cuando el punto neutro está conectado a tierra a través de un transformador de distribución . . . . .	17

Fig.	Pág.
12 Instalación de relé de protección de contacto a tierra del rotor (método del potenciómetro) . . . . .	19
13 Instalación de relé de protección de contacto a tierra del rotor (método de aplicación de c. a.) . . . . .	20
14 Instalación de relé de protección de contacto a tierra del rotor (método de aplicación de c. d.) . . . . .	21
15 Instalación de relé de protección de pérdida de campo por relé de baja corriente . . . . .	24
16 Instalación de relé de protección de pérdida de campo por relé de distancia direccional . . . . .	24
17 Instalación de relés de protección de sobrecorriente en combinación con la protección diferencial . . . . .	25
18 Instalación del relé de protección de sobretensión por relé de tensión regulable . . . . .	27
19 Instalación del relé de protección contra carga desequilibrada . . . . .	28
20 Instalación de termómetros de resistencia para control de sobrecalentamientos . . . . .	30
21 Interruptor centrífugo acoplado al eje de la máquina . . . . .	31
22 Instalación del relé direccional de potencia para protección de motorización del alternador . . . . .	33
23 Desexcitación por resistencias . . . . .	35
24 Desexcitación oscilatoria . . . . .	35
25 Relé diferencial de cociente QS4 - AEG . . . . .	41
26 Relé de sobreintensidad con retardo RSZ3f - AEG. . . . .	45
27 Relé contra aumentos de tensión RUF mod. - AEG . . . . .	47
28 Relé de tiempo de precisión RZF -AEG . . . . .	47

Fig.	Pág.
29	Curva de los valores de resistencia del Ni. en función de la temperatura . . . . . 49
30	Diagrama vectorial del transformador de intensidad . . . 53
31	Diagrama vectorial del transformador de tensión . . . 53

INDICE DE PLANOS.

- 8-1.) Conexiones del alternador.
- 8-2.) Dispositivos de desexcitación.
- 8-3.) Plano de protección y medida.
- 8-4.) Plano general de conexiones.

1.) GENERALIDADES.-

El presente estudio, está encaminado a realizar una descripción sintetizada de las fallas que se presentan en los alternadores y de los elementos que se usan para localizarlas, la forma en que éstos actúan para proteger al generador y el criterio que se debe adoptar para equipar de un sistema de protección a una central eléctrica.

Por motivos técnicos y económicos, las centrales eléctricas tienen que garantizar un suministro de energía con un grado mínimo de interrupciones; pero esto sólo es posible, cuando, aparte de la disposición técnica adecuada de las centrales y de las instalaciones de transmisión y distribución, y de un racional sistema de explotación, se procura que las averías ocasionales sean acusadas y eliminadas rápidamente por los dispositivos de protección.

En el caso de los alternadores, las fallas que pueden presentarse son raras, como resultado de los diseños modernos de las máquinas y del progreso alcanzado en la calidad de los materiales empleados en su construcción. Sin embargo, las fallas se presentan, y pueden acarrear serias consecuencias al producir daños graves y desconexiones de larga duración. Por ésto, es importante reconocer prontamente las condiciones anormales y eliminar rápidamente el sector donde se presenta la perturbación.



No todas las fallas requieren necesariamente de la desconexión de la parte afectada, más bien, éstas permiten que puedan ser detectadas por dispositivos de alarma y evitar oportunamente una falla grave. No obstante, hay casos en que debido a la naturaleza de la avería es necesario la desconexión inmediata del alternador.

En todo caso, es importante hacer un balance del costo y del grado de protección proporcionado, contra el riesgo que se corre si no se aplica la conexión específica para cierto tipo de avería.

Los dispositivos de protección que deben ser usados en un determinado caso, dependen lógicamente del tamaño y de la importancia de la máquina en cuestión.

#### 1.1.) Misión de la protección en los alternadores.

Hemos visto que, los elementos de protección tienen por objeto, detectar las anomalías para aislarlas o indicarlas, poniendo en funcionamiento dispositivos especiales como ser, disyuntores, alarmas, etc.

Por razones de ordenación, vamos a clasificar en el presente estudio, las fallas que se presentan en los alternadores y los tipos de protección usados, en base a la localización

de las averías, o sea, cuando éstas se presentan en el alternador mismo, o si provienen de la carga o de los equipos auxiliares; así tenemos:

a.) Protección contra defectos interiores, en los que se debe considerar las averías producidas en el aislamiento de los devanados de las máquinas, tales como, contacto a tierra, cortocircuito, etc. o desconexión de los circuitos internos de generación;

b.) Protección contra defectos exteriores, en los que se debe proteger al alternador contra las demandas excesivas de la red, tales como, sobrecarga, sobretensión, carga desequilibrada, etc. y las condiciones anormales en el funcionamiento del sistema eléctrico del que forma parte el alternador; y

c.) Protección contra fallas de otra clase, a las anomalías de orden mecánico en los alternadores y que degeneran en perturbaciones eléctricas, o a los problemas causados por el posible mal funcionamiento de las máquinas impulsoras.

Con el fin de evitar las desconexiones innecesarias del alternador y los consecuentes "apagones" o problemas de la estabilidad del sistema, la desconexión de las partes averiadas tiene que realizarse de modo selectivo, o sea que, tiene que limitarse a las mismas partes averiadas y no debe extenderse a partes sanas de la instalación. Esto se consigue, mediante una apropiada disposición de los circuitos, con ubicación adecuada de los sitios de separación (in-

terruptores, fusibles, etc.) y una elección correcta de los dispositivos de protección allí instalados.

1.2.) Condiciones de los equipos a proteger.

Habíamos visto que, al equipar de un sistema de protección a un alternador, debemos realizar una evaluación entre el costo de los equipos y el riesgo de no usar protecciones. Para poder realizar esta evaluación, debemos analizar a la central aisladamente y en conjunto con el sistema del que forma parte.

En esta forma, es de importancia determinar la naturaleza de la máquina impulsora y la relación que guarda el alternador con el resto del sistema, o si trabaja en forma aislada. Además, se debe establecer la clase de servicio que suministra el alternador mencionado.

Es importante para seleccionar los elementos de protección, el averiguar la forma en que el alternador se encuentra conectado a tierra, sea directamente o a través de una impedancia, o cuando ésta no existe.

También se debe verificar, la forma en que el alternador se encuentra conectado a la carga, si en forma directa o a través de la conexión intermedia de un transformador.

Es conveniente que las conexiones internas de los

alternadores, puedan ser sacadas al exterior y en forma accesible, a fin de facilitar la conexión de los elementos de protección.

De acuerdo a lo expuesto tenemos que, al diseñar los dispositivos de protección que debe tener una central, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- a.) Tamaño de la máquina,
- b.) Su importancia para la explotación,
- c.) Clase de servicio que debe prestar,
- d.) Posibilidad esperada de que se presenten averías,
- e.) Calidad y cantidad de personal de vigilancia, y
- f.) Consideraciones de carácter económico.

## 2.) DISPOSITIVOS DE PROTECCION.-

En este capítulo, vamos a hacer un análisis de las causas que motivan las fallas de los alternadores y la forma en que éstos son afectados; los sistemas de protección que se aplican en cada caso y la calidad de protección que ofrece cada sistema, así como la forma en que éstos actúan al detectar la falla.

Es conveniente considerar que, la finalidad de este estudio es el conocimiento de las anomalías que pueden presentarse en los alternadores y la forma en que éstas son detectadas y eliminadas, sin pretender hacer un análisis cualitativo o cuantitativo de los principios de funcionamiento ni de diseño especializado de los relés de protección, cuyo estudio sería objeto de un tratado especial, ajeno al carácter de la presente tesis.

Vamos pues a analizar las principales averías que se presentan durante el funcionamiento de un alternador, siguiendo la clasificación que habíamos adoptado anteriormente, o sea:

- 2.1.) Fallas propias del generador o defectos interiores,
- 2.2.) Fallas provenientes de la carga o defectos exteriores, y
- 2.3.) Fallas de otra clase.

2.1.) Fallas propias del generador, o defectos interiores.

El percance eléctrico más común que se presenta durante el funcionamiento de un alternador, es el cortocircuito, el mismo que lo afecta produciendo esfuerzos tanto mayores, cuanto mayor sea la potencia del alternador. Estos esfuerzos son:

a.) Los esfuerzos mecánicos producidos por los efectos magnéticos de la corriente de cortocircuito inicial y que se presentan al establecerse un cortocircuito repentino en el instante en que la intensidad de la corriente alcanza un valor máximo. El cortocircuito desarrolla esfuerzos considerables entre los conductores recorridos por la corriente de cortocircuito, que deben ser resistidos por éstos sin deformación.

b.) El esfuerzo térmico, comenzando por la corriente de cortocircuito de choque y continuando con la amortiguación de ésta, hasta convertirse en la corriente de cortocircuito estacionario. Esta, produce en general, las mayores cantidades de calor a causa de su duración. Los materiales aislantes de las bobinas, así como los conductores que son recorridos por esta corriente, sufren las consecuencias del calentamiento.

Para poder controlar los efectos del cortocircuito en el alternador, se debe determinar donde se presentan éstos, y en que forma son detectados y eliminados por los dispositivos de protección. Así, vemos que el cortocircuito puede aparecer:

2.1.1.) Entre las espiras de los devanados de distintas fases, o cortocircuito entre fases,

2.1.2.) Entre las espiras de los devanados de una misma fase, o corto-

circuito entre espiras,

2.1.3.) Entre las espiras de los devanados y la masa del estator, o contacto a tierra del estator, y

2.1.4.) Entre las espiras del devanado y la masa del rotor, o contactos a tierra del rotor.

También, dentro del sistema del alternador, es posible que se presente otra clase de falla ajena a la naturaleza del cortocircuito, cuyos efectos inmediatos afectan al buen funcionamiento del alternador y del sistema; esta falla se debe a la pérdida o debilitamiento del campo, a la que simplemente denominamos:

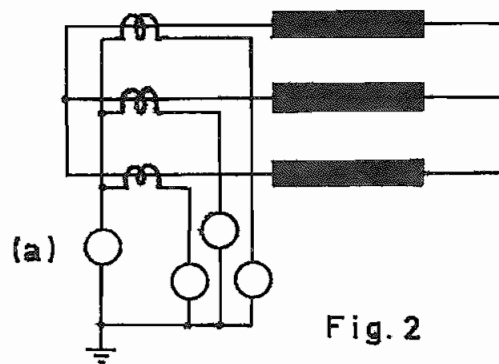
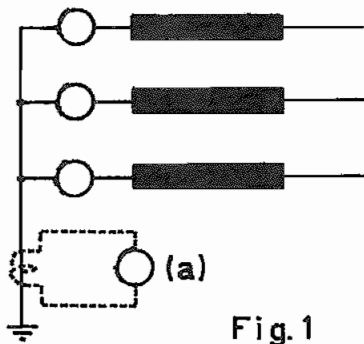
2.1.5.) Debilitación del campo.

Vamos pues, a estudiar cada uno de los casos indicados, de acuerdo al orden en que los hemos mencionado.

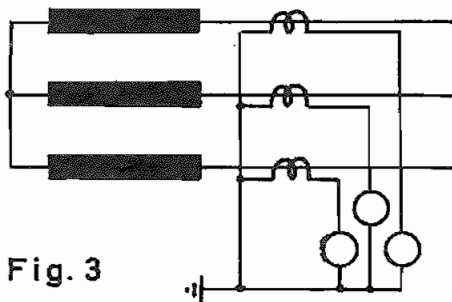
2.1.1.) Cortocircuito entre fases.

Existen algunos sistemas para proteger al alternador de los efectos del cortocircuito entre fases, los mismos que son efectivos en mayor o menor grado y que por lo mismo deberán ser seleccionados en base a criterios técnico económicos. Examinaremos los principales sistemas usados y su aplicación, de acuerdo a los diferentes casos de instalación del alternador y los diferentes relés de protección comerciales.

La forma más sencilla de protección de los generadores, mediante relés de sobrecorriente, tenemos en el caso de que los terminales para la formación del punto neutro, sean accesibles desde el exterior de la máquina, en tal forma que la instalación de los relés sea dispuesta en la forma indicada en la Fig. 1 , o mediante el uso de transformadores de corriente (Fig. 2)



En el caso de que no sea posible instalar transformadores de corriente en el neutro de las bobinas conectadas en Y de un alternador, o sea que sólo los terminales de fase son sacados hacia afuera, se pueden conectar relés de sobrecorriente en la forma indicada en la figura 3, donde se ve que los relés accionan con la corriente de cortocircuito proporcionada por el sistema. Esta protección no es efectiva cuando el interruptor principal está abierto o cuando está cerrado y no se dispone de otra fuente de generación. Por lo tanto, este tipo de protección será usado en los casos en que se disponga de corriente de cortocircuito en el sistema.



tiva cuando el interruptor principal está abierto o cuando está cerrado y no se dispone de otra fuente de generación. Por lo tanto, este tipo de protección será usado en los casos en que se disponga de corriente de cortocircuito en el sistema.



Si el neutro del generador no está conectado a tierra, se puede obtener una protección rápida y sensitiva mediante el uso de relés de sobrecorriente a tierra (Fig. a), pero si el neutro del generador está conectado a tierra, se obtiene mejores resultados, en cuanto a sensibilidad y rapidez, usando relés de sobrecorriente direccionales. En todo caso, sea que el neutro esté o no conectado a tierra, los relés direccionales proporcionan una protección más efectiva.

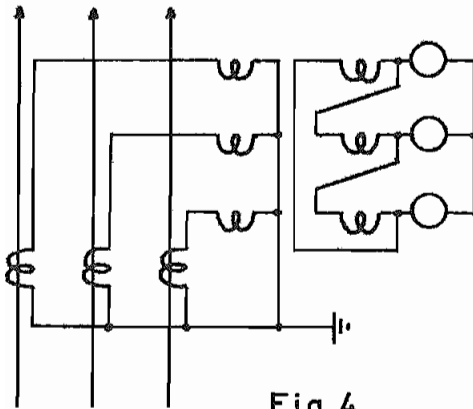


Fig.4

También se puede usar relés de sobrecorriente del tipo de voltaje restringido o controlado, no direccionales, los mismos que sirven para proteger fallas entre fases del generador, así como también protegen contra fallas externas de retaguardia. (Fig. 4)

Sin embargo, ninguno de los sistemas mencionados tiene la efectividad que ofrece la protección diferencial, la cual debe ser preferida siempre y cuando se justifique económicamente su instalación.

Sabemos que, el principio de operación de la protección diferencial es que, si tenemos un conductor que transporta la energía en un mismo sentido, sin ninguna derivación intermedia, mientras no haya defecto de aislamiento en dicho conductor, la intensidad en dos puntos es sensiblemente la misma; luego, si conectamos dos transformadores de intensidad (de la misma razón de transformación), limitando el

campo de la protección, con sus secundarios conectados en serie, la corriente también es igual, y la bobina de un relé (R) conectada en paralelo, no estará recorrida por ninguna corriente.

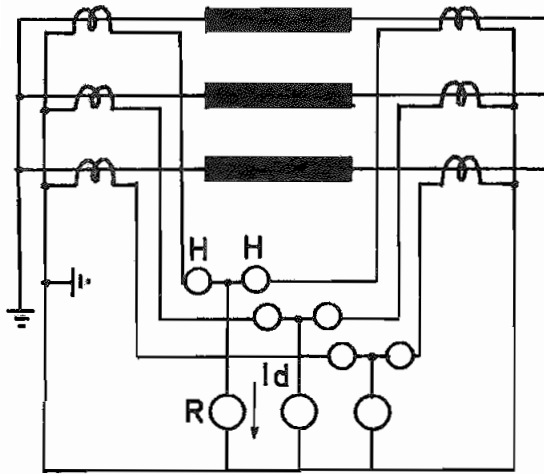


Fig. 5

Ahora bien, en cuanto, como consecuencia de un defecto de aislamiento, la intensidad sea mayor en un punto, circulará una corriente diferencial ( $I_d$ ) por la bobina del relé, el cual producirá el disparo del interruptor de la máquina y su desexcitación.

Para evitar desconexiones erróneas, que puedan presentarse por corrientes de equilibrio, como consecuencias de inexactitudes en los transformadores de intensidad, al producirse averías fuera de la zona de protección, es necesario disponer de bobinas compensadoras de equilibrio (H). (Fig. 5)

Esta protección se utiliza para controlar los cortocircuitos bi y tripolares, así como también, abarca los cortocircuitos con tierra hasta el punto de estrella, cuando la conexión a tierra del punto estrella de la máquina tenga reducido valor óhmico y en consecuencia, por la resistencia de tierra pase una intensidad elevada de cortocircuito, lo que no ocurre cuando la conexión del punto estrella a tierra es de alto valor óhmico.

En el caso de tener alternadores conectados en triángulo, aplicaremos la protección diferencial en la forma indicada en la figura 6.

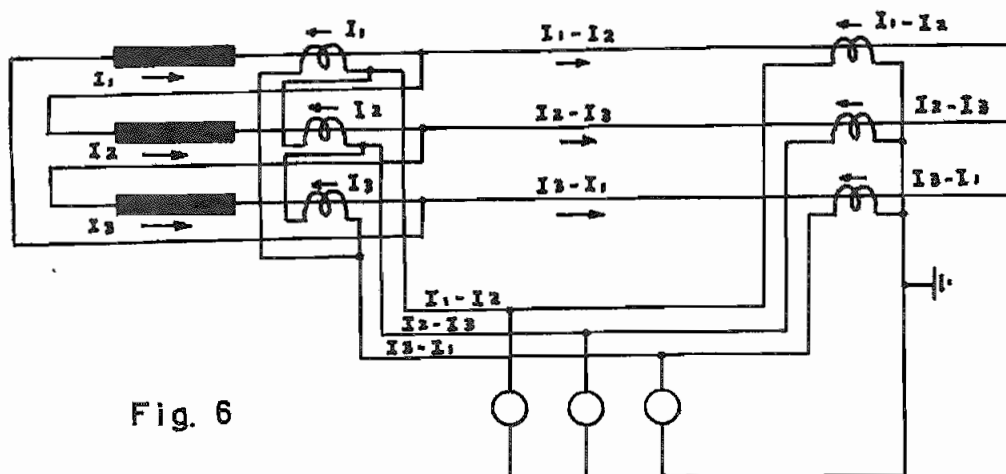


Fig. 6

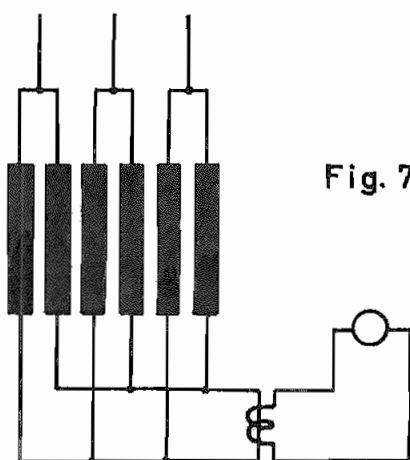
Habíamos visto que, las averías ocasionadas fuera de la zona protegida, pueden producir desequilibrios de las corrientes que provocarían falsas desconexiones, lo mismo que cuando se presentan desequilibrios tolerables de la carga. Por estas razones, el ajuste de la protección diferencial se suele hacer para un valor de respuesta del 10 al 20% del valor de la intensidad nominal de la máquina, dependiendo en todo caso, de la estabilidad del sistema y de la sensibilidad de los relés usados. También es un factor para determinar los valores de ajuste, las otras protecciones usadas. El disparo de la protección diferencial debe producirse sin retardo y debe actuar sobre el interruptor principal y el dispositivo de desexcitación.

### 2.1.2.) Cortocircuito entre espiras de una misma fase.

Los dispositivos de protección contra cortocircui-

tos entre espiras de una misma fase en el estator, se utilizan únicamente en el caso de alternadores con devanados dobles (devanados parciales conectados en paralelo), ya que sólo en este caso es aplicable este sistema de protección.

En el caso de tener alternadores con devanados dobles y cuyos puntos extremos, para la formación del punto estrella, sean accesibles desde el exterior de la máquina, los puntos de estrella se unirán por medio de un transformador de intensidad, a cuyo circuito secundario irá conectado un relé de sobreintensidad. Fig. 7.

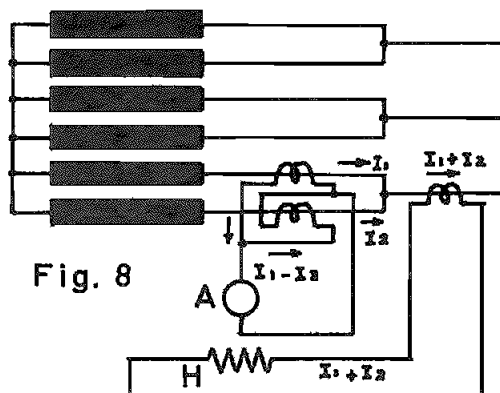


Al presentarse un cortocircuito entre espiras, se produce un desplazamiento del punto estrella y como consecuencia, fluye una corriente de compensación a través de la fase defectuosa entre los puntos estrella, la cual hace reaccionar el relé de intensidad previsto.

Generalmente, no es necesario disponer de bobinas estabilizadoras, puesto que, incluso en el caso de fuertes cortocircuitos fuera del campo de validez de la protección, no circula ninguna corriente lo suficientemente fuerte a través de la unión del punto estrella, como para hacer reaccionar el relé.

La protección contra el cortocircuito entre espiras, se ajusta de tal forma que, incluso en el caso de cortocircuito en sólo una bobina, la protección reacciona con toda seguridad, disparando el interruptor automático de la máquina y motivando la desexcitación de la misma.

En generadores que tienen devanados dobles, se puede protegerlos también, mediante dos juegos de relés diferenciales, uno conectado entre los dos bobinados paralelos y el otro afue-  
ra. (Fig. 8)



En este tipo de protección, la bobina de disparo (A), es recorrida por la diferencia de intensidades de ambos circuitos parciales, y la bobina compensadora de equilibrio (H), lo es por la suma de dichas intensidades parciales.

Con esta disposición, es posible proteger todo tipo de fallas internas, entre las que se incluyen los cortocircuitos entre espiras de una misma fase y los cortocircuitos abiertos en los devanados.

La relación de los transformadores de corriente puede ser de 2 a 1, o sea que se puede usar transformadores auxiliares para balancear la intensidad durante el funcionamiento normal.

### 2.1.3.) Cortocircuito a tierra del estator.

La aplicación de un determinado sistema de protección contra fallas a tierra del estator, está determinado principalmente por la forma que el punto estrella del estator esté conectado a tierra. Actualmente se usan dos métodos de protección:

- a.) Si la conexión a tierra está realizada a través de una resistencia,
- b.) Si la conexión a tierra está realizada a través de un transformador de distribución.

En países donde la práctica standard de conexión del punto estrella es a través de una resistencia, se ha limitado la corriente de falla entre 200 y 300 amperios; mientras que, donde se usa la conexión a tierra a través de un transformador de distribución, la corriente de falla está limitada entre 5 a 10 amperios.

Este último método tiene la ventaja de reducir al mínimo la posibilidad de daños en el estator, pero, sólo es practicable, cuando las bobinas del estator están directamente conectadas a las bobinas en  $\Delta$  del transformador (conexión en bloque).

- a.) Cuando el punto neutro del estator se conecta a tierra a través de una resistencia, se instala un transformador de corriente en la conexión a tierra, y el secundario de éste se conecta ya sea a un relé con características tiempo - corriente inversos, o a un relé instantáneo de atracción de armadura, dependiendo esto de si el generador es-

tá directamente conectado a las barras colectoras o a un transformador  $\Delta$ -Y . (Fig. 9)

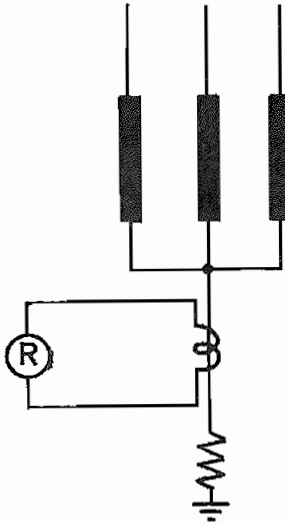
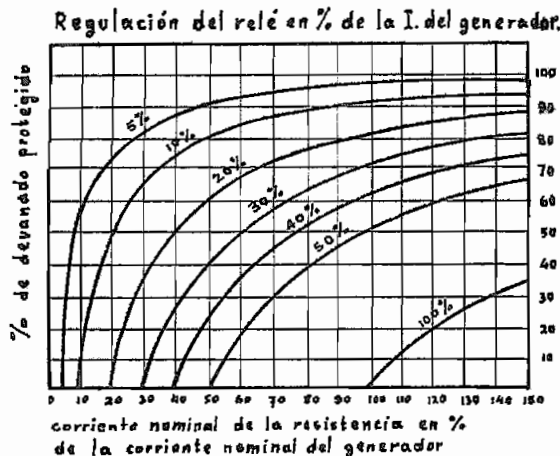


Fig.9

En el primer caso, el relé de características tiempo - corriente inversos, deberá ser calibrado en forma escalonada, después de las desconexiones de otros relés de protección de puesta a tierra.

En el otro caso, debido a que las corrientes de falla no pueden pasar a través del transformador, por no existir conexión galvánica, el relé reacciona independientemente.

La protección de las bobinas del estator, que se obtiene cuando la conexión de puesta a tierra ha sido realizada a través de una resistencia, no es del 100% el porcentaje de lo que se puede proteger, dependiendo del valor de la resistencia de puesta a tierra y de la calibración del relé.



En la figura adjunta (Fig 10), el porcentaje de bobina protegido, está dado por varios valores de resistencia a tierra y diferentes regulaciones del relé, desde 5 hasta 100% de la corriente del generador. El diagrama, indica que, reduciendo la calibración del relé o aumentando la corrien-

te que pasa a través de la resistencia de tierra, no mejora proporcionalmente la cantidad de bobinado protegido.

b .) Cuando el punto estrella se conecta a tierra a través del primario de un transformador de distribución, la protección contra fallas a tierra se prevé, conectando un relé de sobrevoltaje, en el secundario del transformador (Fig. 11). La corriente máxima de falla, se determina de acuerdo al tamaño del transformador y a la resistencia de carga (R).

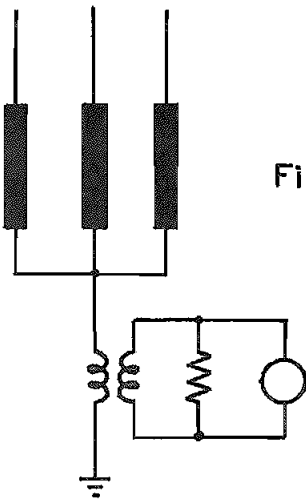


Fig.11

La carga óptima sucede cuando la potencia disipada en la resistencia, es igual a la pérdida capacitiva en el sistema de generación. En este caso, los posibles sobrevoltajes transitorios se reducen al mínimo; aumentando la disipación de energía en la resistencia, aumenta la energía en el arco de falla y por lo tanto aumenta también la magnitud del daño.

En ocasiones, se usa un transformador de tensión en lugar de un transformador de distribución, en el circuito de conexión a tierra, por razones de economía, sin embargo, se presenta el inconveniente de que las sobretensiones transitorias pueden afectar al transformador de tensión.



La cantidad de bobinado protegido, cuando se usa un transformador de distribución en la conexión a tierra, depende de la calibración del relé, la cual está expresada en porcentaje del voltaje nominal del secundario del transformador, así el 10% de calibración, protegerá el 90% del embobinado.

El ajuste de tiempo debe hacerse de tal manera, que el efecto capacitivo entre las bobinas del transformador, al presentarse una falla en el bobinado de alta tensión de éste, tenga un retardo para evitar desconexiones innecesarias del sistema.

#### 2.1.4.) Contactos a tierra del rotor.

Una falla a tierra en las bobinas de campo o en el circuito de la excitatriz de un generador, no constituye en sí un peligro para la máquina, pero si se produce una segunda falla, la parte de la bobina incluida entre las dos fallas, estará en cortocircuito, resultando de esto, un desbalanceamiento magnético en el campo, y a la vez, este desbalanceamiento puede ocasionar daños mecánicos en los cojinetes de la máquina.

Existen tres métodos para detectar este tipo de falla:

- a.) El método del potenciómetro,
- b.) El método de aplicación de corriente alterna, y
- c.) El método de aplicación de corriente continua.

Todos estos métodos se basan en que, al presentarse una falla en el rotor, se cerrará un circuito eléctrico del cual forma parte el relé de protección.

a.) Método del potenciómetro.

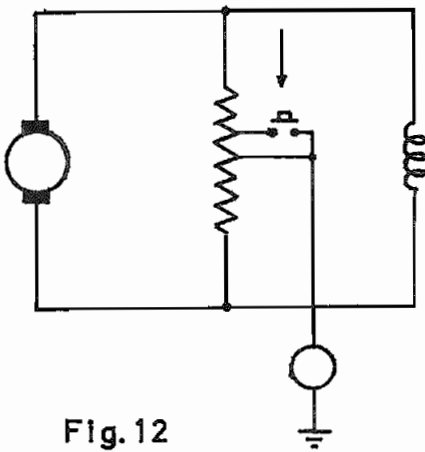


Fig. 12

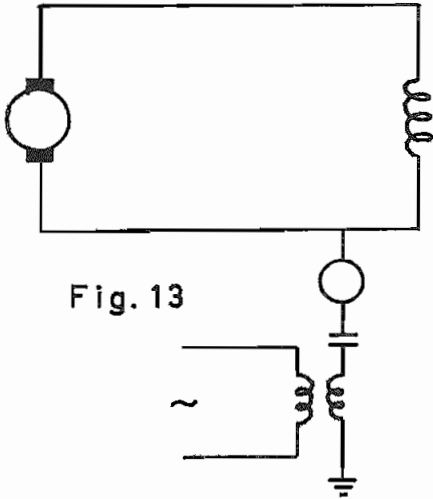
Este sistema se compone, de una resistencia conectada en paralelo con la bobina de campo, y existe una derivación en la resistencia, la cual se conecta a tierra a través de un relé de sobrevoltaje. Así, cualquier falla a tierra en el campo produce un voltaje entre los terminales del relé. (Fig. 12)

El valor máximo de voltaje ocurre cuando la falla está localizada en los extremos de la bobina de campo, reduciendo su valor conforme la falla se acerca hacia el centro de la bobina de campo.

La desventaja obvia de este sistema, es que existe un punto de la bobina de campo (punto muerto) que no puede ser detectada por el relé. Para prevenir una falla en este punto, se agrega un switch para desplazar el centro de la resistencia al punto donde éste está conectado. Cuando se usa este tipo de protección, el punto central de la bobina de campo debe ser chequeado por lo menos tres veces en el día.

La ventaja de este sistema es la simplicidad y la ausencia de fuentes auxiliares de corriente.

b.) Método de aplicación de corriente alterna.



Este sistema está compuesto de un generador auxiliar, cuyo secundario está conectado a tierra en un extremo y el otro extremo se conecta a cualquiera de los polos del campo, a través de un capacitor y el relé de protección.

Cuando se presenta una falla a tierra en la bobina de campo o la excitatriz, el circuito del relé se completa y pasa corriente a través de éste, la cual es independiente del voltaje de la excitatriz y sólo es función de la resistencia de la falla. (Fig. 13)

En este sistema no hay punto sin protección y la sensibilidad que se obtiene es alta, dependiendo de la limitación del relé; tampoco es afectado por corrientes súbitas en el sistema de campo.

Tiene la gran desventaja que siempre hay una pequeña corriente circulatoria, debido a la capacitancia entre la bobina de campo y tierra, lo cual afecta grandemente a los cojinetes de la máquina.

Una desventaja adicional es que si por algún concepto falla la alimentación de corriente alterna la protección no sirve.

c.) Método de aplicación de corriente continua.

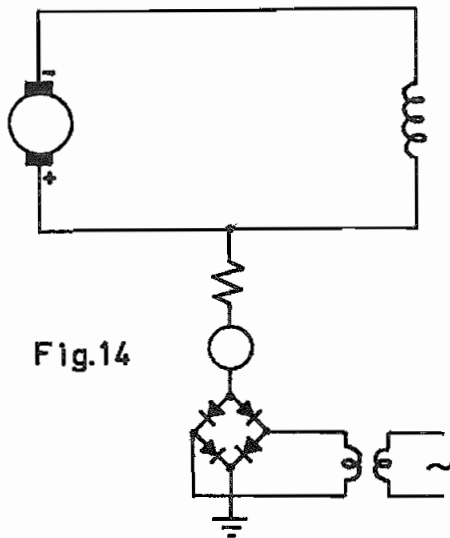


Fig.14

Este sistema es similar en principio al método anterior y se compone de un transformador - rectificador en puente, cuyo punto positivo está conectado a tierra y el negativo, se conecta a través de un relé y una resistencia limitadora al punto positivo del campo. (Fig. 14)

Este sistema ofrece todas las ventajas del método anterior, eliminando el problema de las corrientes circulatorias a través de los cojinetes del rotor. También tiene la ventaja de que si la fuente de corriente alterna se pierde, el sistema todavía permanece efectivo sobre una gran porción del bobinado de campo.

2.1.5.) Pérdida de la excitación.

Quando un generador sincrónico pierde excitación, opera como un generador de inducción, rotando sobre la velocidad de sincronismo.

Si el sistema es suficientemente grande para suplir la deficiencia de excitación a través de la armadura, entonces el generador sincrónico operará como un generador de inducción supliendo o dando los mismos KW. al sistema que antes de la pérdida de la excitación.

En este caso la corriente inducida en el rotor es conducida por las bobinas de amortiguamiento y no se producirán sobrecalentamientos en el rotor. El estator, en cambio, se sobrecalentará debido a sobrecorrientes en las bobinas, estas corrientes pueden alcanzar valores tan altos como de 2 a 4 veces la corriente nominal, dependiendo de la cantidad de deslizamiento o patinaje.

Algunos sistemas, no pueden tolerar el funcionamiento continuado de un generador sin excitación. Estos sistemas son aquellos que no cuentan con reguladores de tensión de respuesta rápida.

Es importante mantener el generador conectado al sistema, entregando KW. por el mayor tiempo posible, especialmente cuando la máquina representa una porción considerable de la capacidad del sistema. Así, una alarma que indique disminución de la excitación, dará oportunidad al personal de vigilancia, de reponer el campo, caso de ser posible, y evitar que la máquina se desconecte y se traduzca en una falla del sistema. Sin embargo, si la máquina y el sistema tienden hacia la inestabilidad, como consecuencia de la pér-

cida de la excitación, entonces el generador debe ser separado automáticamente.

Cuando un generador pierde excitación, absorbe potencia reactiva del sistema en tal cantidad que puede llegar a ser de 2 a 4 veces la potencia de placa del generador.

Antes de perder la excitación un generador, puede haber estado entregando potencia reactiva al sistema. Así, esta gran cantidad de potencia reactiva entregada de repente al sistema, junto con esta potencia reactiva que el generador daba al sistema, pueda causar una reducción marcada del voltaje, el cual a su vez, puede provocar la inestabilidad del sistema, a menos que los otros generadores puedan absorber la carga reactiva inmediatamente.

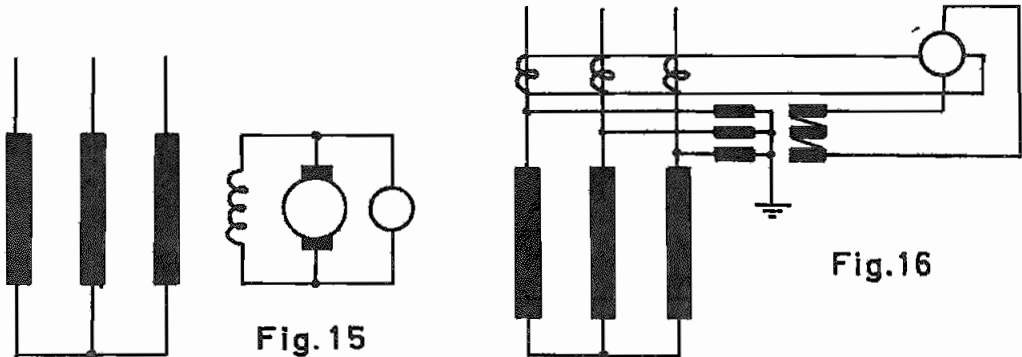
Es importante recordar que los KW. de salida de un generador, son controlador por la máquina impulsora, mientras que los KW. reactivos están controlados por el campo o excitación.

Para operar como un generador de inducción, la máquina debe perder sincronismo. Debido a que los generadores sincrónicos no están diseñados para este tipo de operación, la potencia de salida oscilará un poco, y ésto es debido a la tendencia del rotor de oscilar, en un esfuerzo por ponerse en sincronismo.

La pérdida de sincronismo del generador, no re-

quiere necesariamente la desconexión inmediata, a menos que el voltaje baje a tal punto en los terminales de la máquina que puedan provocar la pérdida del sincronismo.

Como protección para este tipo de falla, se usan relés de baja corriente, conectados en el circuito del campo; pero el sistema de protección más selectivo, es el relé de distancia direccional, el cual funciona tomando corriente y voltaje en los bornes del generador. (Figuras 15 y 16)



### 2.2.) Fallas provenientes de la carga o defectos exteriores.

Las anomalías que pueden presentarse, tanto en las redes, como en la carga misma, producen efectos que se traducen en estados peligrosos para el alternador y que por lo mismo, deben ser detectados y controlados por los sistemas de protección.

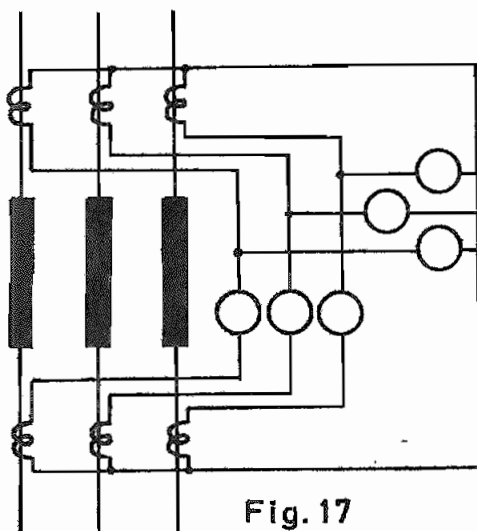
Estas fallas eléctricas exteriores que afectan a los alternadores, pueden resumirse en la siguiente forma:

- 2.2.1.) Sobreintensidades,
- 2.2.2.) Sobretensiones, y
- 2.2.3.) Cargas desequilibradas.

En nuestro estudio, no vamos a analizar las protecciones de la línea, a pesar de que el alternador sufre las consecuencias de las fallas ocasionadas en ella, circunscribiéndonos únicamente a las protecciones propias del alternador.

2.2.1.) Sobreintensidades.

La sobreintensidad en los devanados del estator, provocada por cargas elevadas inadmisibles y de larga duración de la red, o por desconexión de máquinas de marcha en paralelo, tiene como consecuencia un calentamiento inadmisible en la máquina, lo que acarrea su destrucción.



Para este fin, se emplea un relé de sobreintensidad temporizado, que desexcita y desconecta la máquina, al sobrepasar la corriente de cierto valor ajustado, después de transcurrido cierto tiempo prefijado. El relé se conecta a un transformador de intensidad en el punto neutro del alternador, o en combinación con una protección diferencial, entre los



transformadores de intensidad en el punto neutro del alternador y el relé diferencial, por esta razón es efectivo también como protección adicional en el caso de cortocircuito de la máquina. Fig. 17

Para evitar falsas desconexiones de los alternadores, debidas a sobrecargas de corta duración, el ajuste de los relés de sobreintensidad temporizados, se hace al 120 hasta el 150% de la corriente nominal y el disparo se realiza con retardo en consideración al tiempo de servicio de la máquina y a los tiempos de graduación de la red, generalmente de 5 hasta 10 segundos.

#### 2.2.2.) Sobretensiones.

Existen dos clases de sobretensiones que pueden afectar a los alternadores, la una de origen estático a través de las líneas y la otra de origen electromecánico por el aumento de la velocidad de las máquinas o el incremento de la excitación.

Las primeras, se producen a causa de condiciones atmosféricas especiales y afectan a los generadores al ser conducidas hacia éstos por medio de las líneas, alcanzando valores muy elevados, generalmente de corta duración, que pueden producir averías en los enrollamientos. No analizaremos las protecciones usadas para evitar la acción destructiva de estas sobretensiones, ya que esto corresponde más bien a las protecciones de la línea.

Vamos a referirnos a aquellas sobretensiones pro-

ducidas por los súbitos aumentos de la velocidad de las máquinas debidos, especialmente, a desconexiones bruscas de la carga, sobretodo en los alternadores accionados por fuerza hidráulica.

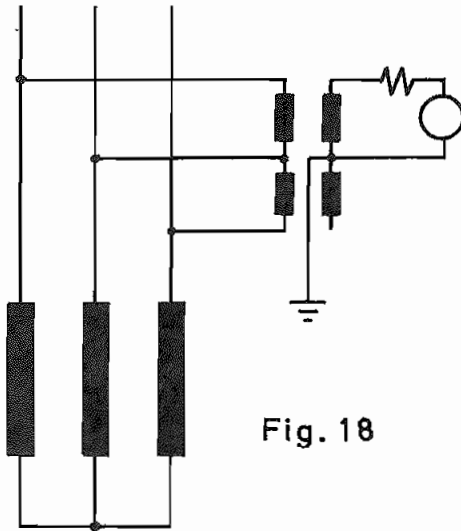


Fig. 18

Como protección contra un prolongado incremento de la tensión, que pueda poner en peligro el aislamiento del alternador, se usa un relé de tensión regulable que controla directamente la tensión en los bornes mismos del generador y que lleva una resistencia conectada en serie para evitar la influencia de la frecuencia. (Fig. 18)

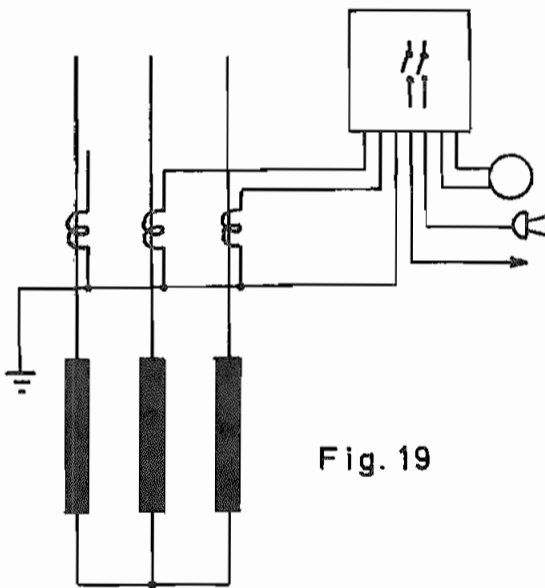
Con el fin de prevenir desconexiones de la máquina al producirse puntas pasajeras de sobretensión y dar al regulador de tensión, el tiempo suficiente para reajustar la tensión de la máquina; la desconexión y desexcitación de ésta, se produce sólo, después de transcurrido cierto tiempo. En esta forma, el ajuste del relé se lo hace para valores del 120 al 150% de la tensión nominal con retrasos de 0,5 hasta 2 segundos.

#### 2.2.3.) Cargas desequilibradas.

Una carga asimétrica de los tres conductores de un generador puesto a tierra con alto valor de resistencia óhmica,

se puede descomponer en un sistema simétrico girando en el mismo sentido, y un sistema antagónico, igualmente simétrico, girando en sentido contrario respecto al sistema desequilibrado (por el generador no puede circular una corriente neutra, salvo en caso de defectos a tierra).

El sistema simétrico que gira en el mismo sentido, amplifica o refuerza la carga simétrica de la máquina, mientras que el sistema antagónico, que gira en sentido contrario, da lugar a corrientes parásitas de doble frecuencia en las piezas macizas del rotor, en especial, en los enrollamientos de amortiguación. Incluso, en el caso de magnitudes relativamente bajas del sistema antagónico, se producen calentamientos adicionales muy importantes, que pueden llegar a la destrucción térmica del rotor.



El aparato de protección contra carga desequilibrada (Fig. 19), se conecta a dos transformadores de intensidad, dispuestos en conductores distintos, el cual determina la magnitud del sistema antagónico y avisa, como primera medida, cuando se ha llegado a la carga máxima desequilibrada permisible y permanente, y luego, después de cierto tiempo, produce la desconexión.

#### 2.3.3.) Motorización del generador.

Veamos la forma en que son controladas estas condiciones por los dispositivos de protección, como se los instala y en que forma actúan.

#### 2.3.1.) Sobrecalentamiento.

La protección que ofrecen los relés de sobrecorriente, no es suficiente contra sobrecargas ligeramente superiores

El ajuste del aparato protector contra carga desequilibrada se hace para el aviso entre 8 y 12% con respuesta retardada de aproximadamente 2 segundos, y para el disparo, entre 10 y 40% con respuesta retardada de aproximadamente 30 segundos.

2.3.) Fallas de otra clase.

Los alternadores en servicio, están expuestos también a otra clase de peligros a más de las averías eléctricas, que de no ser controlados, pueden producir daños de consideración para la integridad de los mismos.

Estos estados peligrosos son los siguientes:

- 2.3.1.) Sobrecalentamiento,
- 2.3.2.) Sobrevelocidad, y
- 2.3.3.) Motorización del generador.

Veamos la forma en que son controladas estas condiciones por los dispositivos de protección, como se los instala y en que forma actúan.

2.3.1.) Sobrecalentamiento.

La protección que ofrecen los relés de sobreintensidad, no es suficiente contra sobrecargas ligeramente superiores

a la carga nominal, y que sin embargo, son perjudiciales para el aislamiento de los enrollamientos de la máquina, al producir aumentos de temperatura que pueden afectar la calidad de los devanados. También pueden presentarse defectos en el sistema de impulsión y circulación de aire para el enfriamiento de la máquina, los que pueden producir elevaciones de la temperatura que afectan la calidad de los aislamientos y disminuyen la potencia de la máquina.

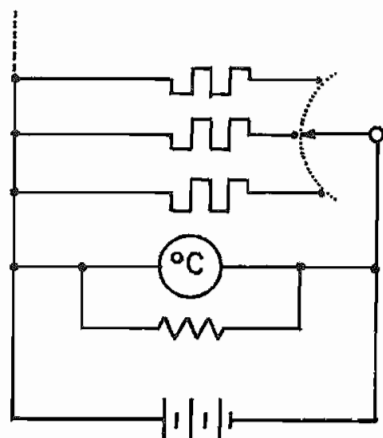


Fig. 20

Las chumaceras o cojinetes de las máquinas, son también lugares donde se presentan calentamientos excesivos que de no ser controlados, pueden alcanzar valores peligrosos para la integridad de los metales de que están fabricadas las chumaceras.

Las causas que pueden provocar estos aumentos desordenados de temperatura son: la falta de lubricación adecuada, falta de refrigeración, defectos de asentamiento o alineación, presencia de corrientes circulantes, etc.

Para detectar y poder controlar los lugares donde se prevé aumentos peligrosos de temperatura, se instalan termoelementos o termómetros de resistencia (Fig. 20), insertados en varios de esos lugares, y mediante un conmutador, se los selecciona para recibir el dato de temperatura averiguado en un indicador común.

Fig. 21



velocidad excede los límites fija-

Los alternadores de 750 KVA. o más, vienen generalmente equipados con detectores de temperatura que accionan indicadores y pueden poner en funcionamiento alarmas u operan disparos de relés.

### 2.3.2.) Sobrevelocidad.

Los elementos de protección que controlan aumentos inadmisibles de velocidad, debidos principalmente a desconexiones bruscas de la carga, deben responder o trabajar en función de la velocidad de la máquina. Estos elementos pueden ser mecánicos o eléctricos. Si el dispositivo de control de sobrevelocidad es eléctrico, no debe ser afectado por el voltaje del generador, usándose para este efecto, dispositivos de magneto, cuya energía, en función de la velocidad, opera los mecanismos de control.

El sistema de protección de sobrevelocidad, puede ser suministrado como parte de la máquina motriz o como parte del regulador de velocidad o del generador; debe operar sobre el regulador de velocidad o cualquier otro medio para frenar o parar la máquina impulsora. Debe también abrir el interruptor principal del generador, para prevenir los efectos de sobrefrecuencia en la carga conectada al generador.

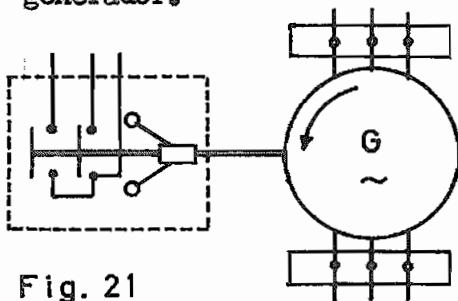


Fig. 21

El dispositivo de sobrevelocidad actúa, generalmente, accionando en primer término sistemas de alarma o indicación, y luego, cuando la velocidad excede los límites fija-

dos, acciona los mecanismos de parada y desconexión del grupo. En algunos casos es conveniente usar como protección de sobrevelocidad un relé de sobrefrecuencia, sin embargo, es preferible usar un interruptor centrífugo acoplado directamente en el eje de la máquina.

(Fig. 21)

El elemento de sobrevelocidad debe ser calibrado para que opera del 3 al 5 % de la velocidad nominal a plena carga, quitada súbitamente la carga.

### 2.3.3.) Motorización del generador.

El problema de la motorización del generador, se presenta como consecuencia de que la máquina impulsora, acuse deficiencias en su funcionamiento, determinando que el generador absorba potencia del sistema para trabajar entonces como un motor sincrónico.

La protección contra la falla por motorización, corresponde principalmente a la máquina impulsora, antes que al generador en sí.

Es aconsejable, en todo caso, el uso de elementos eléctricos (switches limitadores, detectores de temperatura del escape, etc.) para detectar las fallas de funcionamiento de la máquina impulsora.

El uso de un relé direccional de potencia, figura 22, en lugar de los dispositivos antes citados, garantiza una protección

simple y efectiva.

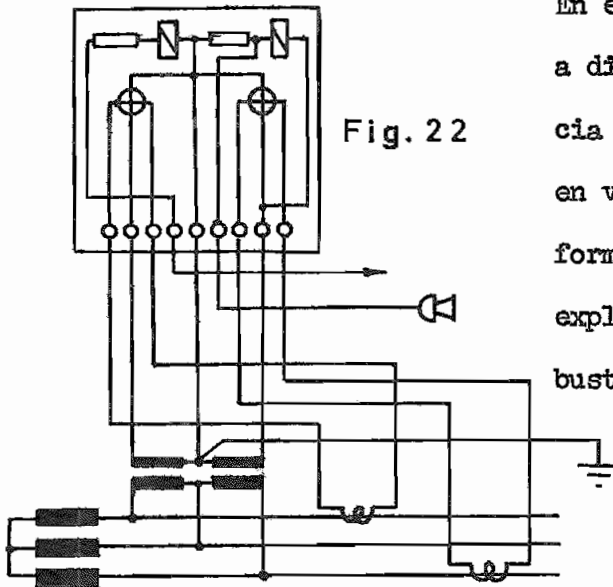


Fig. 22

En el caso de protección de motores a diessel, se usa con mucha frecuencia el relé direccional de potencia en vista de que se debe prevenir en forma segura el peligro de fuego y explosiones, ocasionado por el combustible no quemado.



3.) DISPOSITIVOS DE DESEXCITACION.-

La aplicación de los dispositivos de protección antes expuestos, no tiene sentido práctico, sino cuando al ocurrir un defecto, además de la separación del alternador de la red, también se efectúa la disminución de la tensión a un valor inofensivo, en el menor tiempo posible. Para este fin, se construyan dispositivos de desexcitación por resistencias, de diferentes tipos según el tamaño y tensión del alternador.

En el caso de generadores pequeños y medianos, la desexcitación por resistencia se consigue mediante la disposición de una resistencia en serie con el enrollamiento del inductor.

El principio en que se basa la desexcitación, es la transformación de la energía magnética del campo del alternador, en otra clase de energía, energía de calor en el caso de hacer la desexcitación por resistencias, o bien, energía mecánica, al cambiar la polaridad de la excitatriz y permanecer invariable el sentido de la corriente en el inductor, en este caso, la máquina excitatriz funciona como motor, cediendo la energía mecánica al eje de la máquina.

La desexcitación mecánica tiene lugar la mayoría de las veces juntamente con la desexcitación por resistencias.

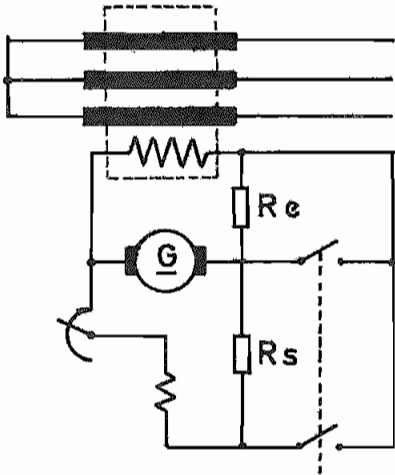


Fig. 23

En el caso de generadores pequeños y medianos, la desexcitación por resistencias se consigue mediante la disposición de una resistencia ( $R_s$ ) en serie con el devanado inductor. Fig. 23 Además, se dispone también una resistencia adicional ( $R_e$ ), en el circuito de la excitatriz.

En el caso de grandes máquinas, se utiliza la desexcitación oscilatoria.

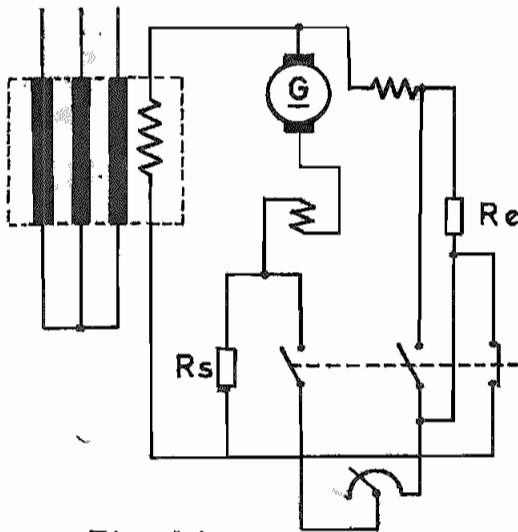


Fig. 24

Después de la apertura del interruptor de desexcitación, debe circular la intensidad del rotor a través de la resistencia ( $R_s$ ). La caída de tensión que se produce en esta resistencia actúa como contraexcitación de la excitatriz. La resistencia auxiliar ( $R_e$ ) en el circuito de campo de la excitatriz, amortigua este proceso para evitar una reexcitación. Fig. 24.

Al pasar por el valor nulo, la tensión del generador o en caso de cortocircuito de la intensidad de la máquina, se abre el circuito del inductor.

Los tiempos de desexcitación alcanzados al desconectar defectos de corriente débil (por ejemplo, contactos a tierra del es-

tator), son del orden de 2 a 5 segundos, y para corrientes fuertes (por ejemplo, cortocircuito), solamente, 30 a 40% de los tiempos antes indicados.

Los tiempos de desexcitación se calculan hasta que la tensión de la máquina alcance el 10% del valor de la tensión nominal, puesto que por debajo de dicha tensión, el arco producido por el defecto se apaga generalmente por sí mismo.

4.) SELECCION Y APLICACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION.-

Como ejemplo para la aplicación de diseño, vamos a equipar del respectivo sistema de protección, a un alternador de 2.500 KVA., el mismo que será movido por un motor a diesel de las características correspondientes. Este grupo eléctrico, será usado como central de emergencia para cubrir puntas de carga en horas "peak". Este grupo deberá trabajar en paralelo con el sistema principal de alimentación de energía eléctrica.

De acuerdo a lo expuesto, vamos a elegir el equipo de protección más adecuado para el alternador del ejemplo.

Datos característicos.

Alternador: Marca:	AEG
Clase de corriente:	trifásica
Clase de conexión:	trifásica en estrella con punto neutro conducido al exterior.
Tensión nominal:	2.300 V.
Intensidad nominal:	629 A.
Clase de servicio:	permanente
Potencia:	2.500 KVA.
Factor de potencia:	0,8
Velocidad nominal:	300 rpm.
Frecuencia:	60 c/seg.
Clase de aislamiento:	B.

Excitatriz: Marca: AEG  
Clase de corriente: continúa  
Tensión nominal: 110/115 V.  
Intensidad nominal: 244/280 A.  
Potencia: 24,4 KW.  
Clase de aislamiento: B.

Máquina motriz: motor a diesel

Tipo de servicio: de emergencia para cubrir puntas de carga

Tipo de trabajo: en paralelo con el sistema principal

Forma de conexión: directamente acoplada a las barras

Generalmente, los grupos eléctricos son suministrados por las casas fabricantes, en conjunto, o sea que todo el equipo eléctrico de la central (alternador, tableros, transformadores, etc.), son de una misma marca. Sin embargo, por razones económicas principalmente, o de ampliación y/o complementación, en algunos casos, cada parte del equipo puede ser suministrado por distinto fabricante.

En todo caso, es deseable que por lo menos cada sistema de la central, sea de una misma procedencia, entendiéndose por sistema, el conjunto de elementos que integran: el alternador, la excitatriz, los disyuntores, los transformadores, los tableros, etc., con el fin de obtener simplicidad en el diseño y uniformidad en el montaje.

Para la elección de los aparatos de protección y sus complementos, imprescindiblemente necesitamos los datos caracte-

rísticos propios de cada aparato que son suministrados por los respectivos fabricantes, siendo indiferente que sean de cualquier procedencia o marca, pero que cumpla con las condiciones necesarias impuestas por la máquina a proteger.

En esta forma, y para mantener la uniformidad con el alternador, vamos a escoger para nuestro diseño, elementos de la casa alemana AEG y usaremos la nomenclatura de ésta, para designar los diferentes tipos de aparatos.

#### 4.1.) Protección para cortocircuitos entre fases.

Para examinar la posibilidad de aplicar la protección diferencial, para control de cortocircuitos en el estator del alternador, consideramos en primer lugar, la accesibilidad del punto neutro de la máquina.

Confirmamos la posibilidad de realizar el punto estrella en el exterior, ya que los seis extremos de las bobinas, terminan en los respectivos bornes U, V, W, X, Y, Z.

De acuerdo a lo expuesto, escogemos un relé diferencial de cociente, tipo Q54 de la AEG, con enrollamientos de retención y de desenganche, el cual debemos conectar a transformadores normales de intensidad. En esta protección, no es necesario equilibrar

entre sí los transformadores delimitadores de la zona de protección, ya que el enrollamiento de retención, por el que fluye constantemente la corriente del transformador, evita desconexiones falsas que pudieran producirse por inexactitudes de los transformadores, al presentarse averías fuera de la zona de protección. Solamente un cortocircuito dentro de la zona protegida produce una corriente diferencial para la desconexión.

Puesto que, un arco de cortocircuito de larga duración, puede causar grandes daños al alternador y como consecuencia de ello, interrumpir por largo tiempo el servicio, la desconexión y desexcitación de la máquina, se verificará, en caso de avería, sin retardo alguno.

Esta protección diferencial, abarca también los cortocircuitos con tierra, cuando la conexión a tierra del punto estrella de la máquina, tenga reducido valor óhmico y en consecuencia, por la resistencia de tierra pasa una intensidad elevada de cortocircuito.

Los valores propios de este relé, según catálogo, son:

Relé diferencial de cociente

Tipo QS4

Funcionamiento: inducción tripolar con disparo electromagnético de c.d.

Número de polos: tres

Contactos: tres de trabajo

Intensidad o tensión nominal: 5 A. c.a. Bobina 65 V. c.d.

Margen de ajuste: 1 al 20% de la potencia.

Consumo de potencia: 1,6 VA. en reposo; 10 VA. caso avería; 20 W.

Caja: chapa de acero de 3 piezas, tapa con charnelas.

Esquema del relé Q S 4

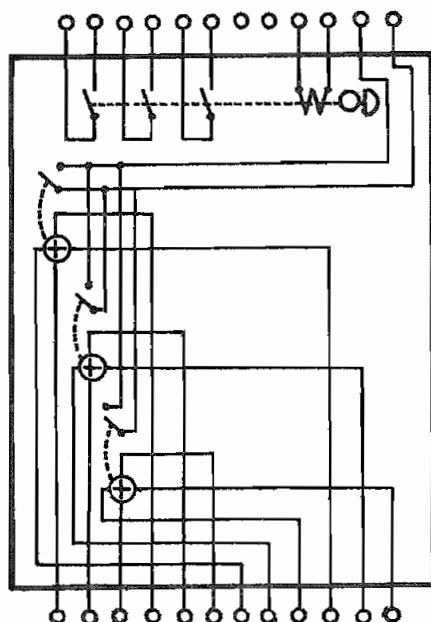


Fig. 25

#### 4.2.) Protección para cortocircuitos entre espiras.

La disposición de los enrollamientos de nuestro alternador, se encuentra realizada en forma de devanado simple y no de fases parciales, por lo tanto, resulta económicamente injustificable la instalación de protecciones para controlar los contactos entre espiras.

Por otro lado, nuestro generador tiene dispuesto su devanado mediante barras aisladas, lo que elimina casi completamen-



te el peligro de que se produzcan averías por cortocircuito entre espiras de una misma fase.

En consecuencia, no usaremos protecciones específicas para proteger este tipo de avería.

#### 4.3.) Protección para cortocircuito a tierra.

Habíamos visto en el inciso 2.1.1.) que, cuando el punto estrella del alternador está conectado a tierra mediante una conexión de bajo valor óhmico, la protección diferencial instalada para control de cortocircuitos entre fases, protege también los cortocircuitos a tierra que puedan presentarse.

Por lo tanto, como tenemos prevista la instalación de un relé diferencial (QS4), y la conexión a tierra del punto neutro del alternador, cumple con la condición anterior; la protección contra fallas de puesta a tierra, se realizará mediante el mismo relé diferencial ya diseñado.

#### 4.4.) Protección para contacto a tierra del rotor.

Debemos considerar, que nuestro grupo termoeléctrico se encuentra instalado en una subestación donde existen otras máquinas y donde, necesariamente, se dispone siempre de personal de vigilancia encargado del mantenimiento de las máquinas.

Por otro lado, debemos considerar que los contactos a tierra en el rotor, no constituyen un peligro inmediato, y que éstos no se presentan súbitamente, sino que son consecuencia del deterioro progresivo del aislamiento, por causas diversas, hasta llegar al punto de que la falla se manifieste.

Si tomamos en cuenta que, el grupo de emergencia, por su razón de ser, va a trabajar diariamente durante cortos lapsos de tiempo, permaneciendo sin funcionar la mayor parte del día, podemos prever que el personal de vigilancia realice mediciones periódicas del aislamiento de los devanados (en este caso del rotor), para prevenir los efectos de posibles contactos a tierra.

En esta forma, como hemos visto, por razones económica y de disponibilidad de personal de vigilancia, prescindimos de una protección especial para los contactos a tierra del rotor.

#### 4.5.) Protección para pérdida de la excitación.

Cuando se presentan fallas en <sup>el</sup> sistema de excitación, se producen en el estator del generador, sobrecorrientes que pueden llegar a tener valores de intensidad sumamente altos. Estas corrientes serán detectadas inmediatamente por un relé de sobreintensidad el cual actuará separando a la máquina del sistema.

Por lo que hemos visto, nuestro grupo de emergen-

cia no necesita un dispositivo de protección específico para casos de pérdida de la excitación, ya que, como veremos adelante, contará con una protección de sobreintensidad.

#### 4.6.) Protección para sobreintensidad.

Las demandas excesivas de carga que se presentan durante el funcionamiento de nuestro alternador, y que afectan directamente a la calidad del aislamiento de los devanados, deben ser detectadas por un sistema de protección de sobreintensidad, el cuál, de acuerdo al porcentaje de sobrecarga, debe producir la desconexión y desexcitación de la máquina, luego de transcurrido un tiempo prefijado.

Así, escogemos el relé de sobreintensidad temporizado para protección de las tres fases, tipo RSZ3f de la AEG, cuyos datos característicos son:

Relé de sobreintensidad con retardo independiente de la intensidad.

Tipo: RSZ3f

Funcionamiento: electromagnético y mecanismo de relojería accionado por corriente continua (c. d.)

Número de polos: tres (3)

Contactos: uno de trabajo, retardado y uno instantáneo.

Intensidad o tensión nominal: 5 amperios. bobina de tiempo 65 voltios. de corriente continua (c. d.)

Margen de ajuste: 45 a 85 voltios;  $I = 4$  a 10 A.; bobina de tiempo: 1 a 12 segundos.

Consumo de potencia: 2,4 VA. por fase; 20 W.

Caja: chapa de acero de tres piezas, chapa con charnela.

Esquema del relé RSZ3f:

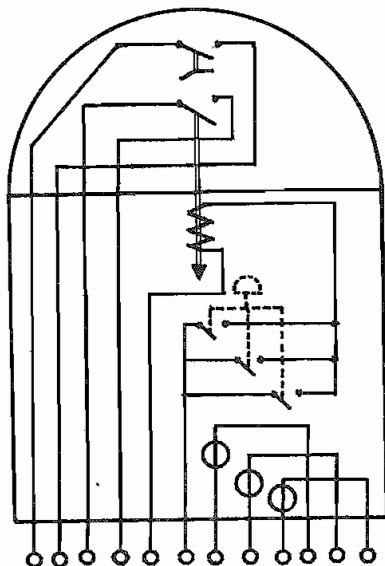


Fig. 26

#### 4.7.) Protección para sobretensión.

Como efecto de descargas bruscas de potencia de magnitud considerable, pueden presentarse, en nuestro alternador, sobrevelocidades, con el consiguiente aumento de la tensión. Para evitar que el alternador se desconecte, al presentarse puntas de tensión de corta duración, y con el objeto de dar al regulador de tensión, el tiempo suficiente para que regule de nuevo el voltaje de la máquina, no se hace actuar dicha protección directamente sobre el dispositivo desexcitador e interruptor de potencia del alternador, sino a través de un relé auxiliar de retardo.

Para este fin, escogemos un relé ajustable con-

tra aumentos de tensión, tipo RUF mod., el cual está provisto de una resistencia en serie, con el objeto de obtener una suficiente independencia de la frecuencia.

El ajuste de la sobretensión debe realizarse entre 120 a 150% de la tensión nominal.

Como dispositivo retardador de la acción del relé de sobretensión, escogemos un aparato retardador con mecanismo de relojería tipo RZf de la AEG, cuyas características se ajustan a nuestras necesidades.

El ajuste del tiempo de retraso debe estar comprendido entre 0,5 a 2 segundos.

Las características de los relés escogidos son:

Relé contra aumentos de tensión.

Tipo: RUF mod.

Funcionamiento: electromagnético.

Número de polos: uno (1)

Contactos: uno de trabajo o uno de reposo.

Intensidad o tensión nominal: 120 V. de c. a.

Margen de ajuste: hasta el 100% de la tensión nominal.

Consumo de potencia: 7 VA.

Caja: chapa de acero de dos piezas con tapa atornillada.

Relé de tiempo de precisión

Tipo: RZf

Funcionamiento: electromagnético y mecanismo de relojería accionado por corriente continua (c. d.).

Número de polos: ninguno

Contactos: uno de trabajo retardado y uno instantáneo.

Intensidad o tensión nominal: 65 V. de c. d.

Margen de ajuste: 0,5 a 6 segundos.

Consumo de potencia: 20 W.

Caja: chapa de acero de dos piezas con tapa atornillada.

Esquemas de los relés RUF mod. (Fig.27) y RZf (Fig. 28)

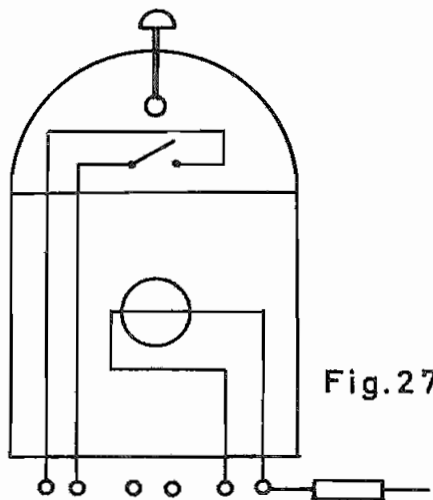


Fig.27

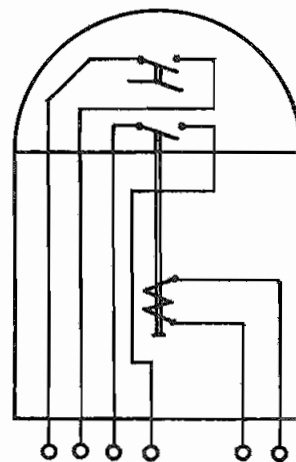


Fig.28

#### 4.8.) Protección para cargas desequilibradas.

Para determinar la conveniencia de la aplicación de protecciones especiales, para control de desequilibrios de la carga tomada de nuestro alternador, analizaremos primeramente, el proceso general de reacción del sistema en paralelo, frente a fallas pro-

ducidas por cargas desequilibradas.

La central o centrales principales que suministran permanentemente la energía eléctrica, cuentan obviamente, con elementos de protección completos, dada su importancia, entre los que se encuentra la protección para cargas desequilibradas.

En el caso de presentarse estados peligrosos por efecto de desequilibrio en la carga, cuando nuestro generador se encuentra sincronizado al sistema, estas cargas desequilibradas serán detectadas por los dispositivos de protección para este tipo de falla que existen en las centrales principales, los cuales, cumpliendo con su función, señalarán la falla y luego (caso de persistir el desequilibrio), separarán del sistema a la respectiva central. En esta forma, se producirá una falla general del sistema, al separarse las otras centrales por efecto de sobrecarga.

Así pues, tenemos que la protección para el desequilibrio de fases, causado por la mala repartición de la carga, es un problema que compete directamente a los sistemas principales. En consecuencia, la protección para cargas desequilibradas, en nuestro caso, no es técnicamente requerida desde el punto de vista de la explotación, y por lo tanto su inclusión sería un gastos innecesario.

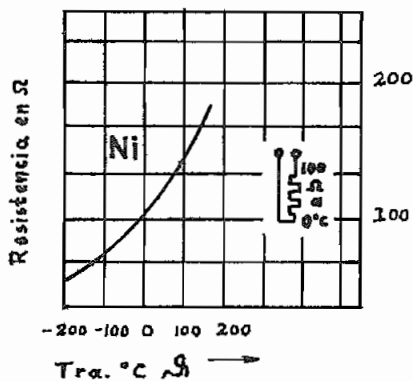
4.9.) Protección para sobrecalentamiento.

Para controlar los aumentos peligrosos de temperatura, que puedan presentarse en nuestro alternador, instalaremos un sistema de detectores de temperatura del tipo de elementos termoelectricos, o sean resistencias cuyo valor varia de un modo regular, de acuerdo a las variaciones de temperatura.

Estos elementos, irán insertados en ocho diferentes lugares dispuestos convenientemente, entre: los devanados, el hierro del estator y las chumaceras. De estos ocho elementos, dos irán insertados en la excitatriz.

Para nuestro caso, escogeremos elementos de resistencia de níquel puro (Ni.), cuyos datos y curva de resistencia, en función de la temperatura, son los siguientes: (Fig. 29)

Fig. 29



Límites de control

de temperatura: -200 a + 150°C.

Temperatura permanente

máxima al aire: 150 °C.

Magnitudes

características: 100Ω a 0 °C.

$$R \approx 6,17\Omega / 10 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Aparato receptor: Indicador bobina T.

El aparato indicador que usaremos, será un aparato de bobina en T, cuyo galvanómetro dará lecturas directamente contrastadas en °C., independientes de la tensión. El indicador tendrá



una escala regulada entre 0 y 150 °C. (Fig. 29)

Debe tenerse especial cuidado durante la instalación, de ajustar debidamente la compensación en las líneas, por medio de las resistencias de compensación que existen para el efecto en este aparato. Cuando éste está bien ajustado, se tendrá una precisión de lecturas, del 1 al 2%.

#### 4.10.) Protección de sobrevelocidad.

En nuestro caso, en que la unidad va a trabajar normalmente sincronizada al sistema, el peligro de sobrevelocidad existe cuando la máquina se separa súbitamente del sistema, por cualquier causa. En este caso, si el dispositivo regulador de la velocidad no reacciona debidamente, la máquina aumentará su velocidad en forma rápida.

Como elemento de seguridad para esta situación, utilizaremos un interruptor centrífugo acoplado directamente al eje de la máquina, el cual accionará mecánicamente (mediante un juego de contrapesas), los contactos que producirán el disparo y desexcitación del alternador, y actuará sobre los dispositivos de parada de emergencia del motor.

En razón de lo expuesto, escogemos un interruptor centrífugo para 300 rpm, con posibilidad de regulación de hasta el 50% de esta velocidad. La calibración se hará, para que se produzca el disparo al alcanzar la máquina una velocidad del 3 al 5% de la veloci-

dad a plena carga, quitada súbitamente la carga; este valor suele ser para máquinas con motor a diesel de ~ 3%.

#### 4.11.) Protección de motorización del generador.

Como la falla de motorización del generador, es causada por fallas del motor, la protección para este defecto pertenece al sistema de protecciones propias del motor. En efecto, encontramos que el motor posee un sistema de protección para detectar fallas de su funcionamiento, consistente en detectores de los gases de combustión que operan alarmas.

Adicionalmente, no instalaremos protecciones especiales para prevenir fallas por motorización del generador, por considerar que los detectores existentes en el motor son suficientes, en razón de que el personal de vigilancia, reconocerá fácilmente las fallas que se presenten en el funcionamiento del motor por alteración del ruido del motor y la señal de los protectores.

Económicamente, no se justifica una protección complementaria.

5.) TRANSFORMADORES DE MEDIDA.-

Los aparatos de medida y los relés de protección, no están contruidos para resistir altas tensiones ni grandes intensidades, por esta razón, para separar los circuitos de medida y protección de las líneas de alta tensión y para reducir las magnitudes que controlan estos aparatos a valores convenientes y uniformes, se usan los transformadores de medida.

Como tales mediciones están refridas en último término a la apreciación de voltajes e intensidades, los transformadores empleados son de dos clases: de tensión y de intensidad.

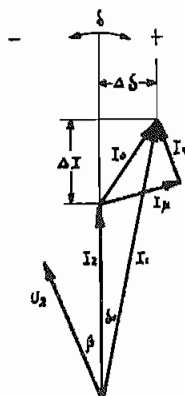
Los transformadores de medida, son aparatos de pequeña potencia y que trabajan casi en cortocircuito en el caso de los transformadores de intensidad, y casi en vacío cuando se trata de transformadores de tensión.

Usualmente, los transformadores de medida están contruidos para tensiones de 100 o 120 voltios y para intensidades, de 5 o 1 amperios. En vez de la carga nominal para la cual está diseñado un transformador, la potencia, se indica generalmente en VA.

Debido a las caídas de tensión, suponiendo el primario constante, existe una variación entre el funcionamiento en vacío y el funcionamiento a plena carga, ésto, da origen a un error

en la relación de transformación y hay otro motivo de error, debido a que, por la misma causa antecedente los vectores de las tensiones e intensidades primaria y secundaria, no están en oposición de fase, a este error se le denomina: error de fase. (Figuras 30 y 31)

Diagrama vectorial del transformador de intensidad.



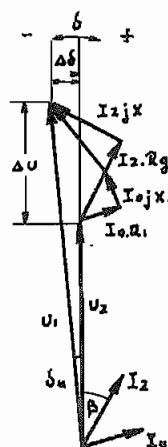
$$F_i = \frac{-\Delta I}{I_1} \cdot 100 \text{ error de intensidad en \%}$$

$$\delta_i = \frac{\Delta \delta}{I_1} \cdot 3440 \text{ error de ángulo en m.m.}$$

$$\beta = \text{error de carga}$$

Fig. 30

Diagrama vectorial del transformador de tensión.



$$F_u = \frac{-\Delta U}{U_1} \cdot 100 \text{ error de tensión en \%}$$

$$\delta_u = \frac{\Delta \delta}{U_1} \cdot 3440 \text{ error de ángulo en min.}$$

$$\beta = \text{ángulo de carga}$$

Fig. 31

Los instrumentos de medición y los relés de protección conectados a un transformador de medida, inclusive los conductores secundarios, forman en su conjunto la carga, consistiendo generalmente de partes activas y reactivas.

En el caso de nuestro ejemplo, debemos prever la instalación de transformadores de medida de tensión e intensidad.

### 5.1.) Elección de transformadores de intensidad.

Los transformadores de intensidad se construyen

en un determinado escalonamiento para diversas intensidades primarias, los cuales están dimensionados en tal forma que pueden soportar continuamente 1,2 veces la intensidad secundaria nominal, y durante 15 minutos 1,5 veces dicha intensidad. La intensidad secundaria normalmente es de 5 A. y de 1 A. en casos excepcionales.

Intensidades nominales para transformadores de intensidad.							
5 A.	10	15	20	30	50	75	100 A.
	150	200	300	400	600	800	1000 A.
	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000 A.

De acuerdo al grado de precisión con que deben llevarse a cabo las mediciones, los transformadores de intensidad se clasifican según los límites de error que acusarán de acuerdo a la carga, así tenemos:

Resumen de las clases de precisión de los transformadores de intensidad.

Intensidad primaria en % de su valor nominal	Clase 0,2		Clase 0,5		Clase 1		Clase 3	
	Error de I.	∠ error	Error de I.	∠ error	Error de I.	∠ error	Error de I.	∠ error
10%	+ 0,5%	+ 20'	+ 1 %	+ 60'	+ 2 %	+ 120'	+ 3%	no limitado Para 50% hasta 100% I <sub>nom.</sub>
20%	+ 0,35%	+ 15'	+ 0,75%	+ 40'	+ 1,5%	+ 80'		
100 y 120%	+ 0,2%	+ 10'	+ 0,5 %	+ 30'	+ 1 %	+ 60'		

Las clases 0,2 y 0,5 entran en consideración para la medición de precisión, así como para la medición exacta de la potencia.

cia y trabajo en un servicio, mientras que para los amperímetros, vatímetros, contadores y para los relés normales, se utilizan transformadores de la clase 1.

La potencia con la cual los transformadores de medición se pueden cargar, sin que ésta sobrepase el valor límite correspondiente a su clase de precisión, se llama potencia nominal en VA. La carga efectiva se compone del consumo de los aparatos conectados y del consumo de los conductores de medición que unen dichos aparatos.

Es importante anotar que, con una carga de  $1/2$  a  $2/3$  de su carga nominal, practicamente todos los transformadores de medida, presentan su error mínimo; cuyo error en la mayoría de los casos, corresponde a la clase de precisión próxima superior.

Para determinar la potencia de carga que va a ser aplicada a los transformadores de corriente del sistema de protección de nuestro alternador, el consumo en VA. de cada uno de los aparatos que vamos a conectar, es el siguiente:

Relé diferencial QS4	10	VA.
Relé de sobreintensidad RSZ 3f	2,4	VA.
Relé de sobretensión RUF mod.	+ 7	VA.
Total	<u>19,4</u>	VA.

Si consideramos que vamos a utilizar 30 mts. de conductor de cobre de  $4 \text{ mm}^2$  cuya resistencia es de  $0,0088 \Omega / \text{mt.}$ , te-

nemos:  $30 \times 0,0088 = 0,2640 \Omega$

$$VA = I^2 \cdot R$$

$$VA = 5^2 \cdot 0,2640 = 6,6 \text{ VA.}$$

La carga total será:  $19,4 + 6,6 = 26 \text{ VA.}$

De acuerdo a las características de nuestro alternador, la corriente nominal a plena carga, con  $\cos \varphi 0,8$  será de 786 A. Entonces, los valores para los cuales debemos escoger los transformadores de intensidad, son los siguientes:

Intensidad nominal	786 A.
Potencia de carga	26 VA.
Tensión nominal	2,3 KV.
Clase	1

Según catálogo de la AEG, escogemos el transformador de intensidad tipo AL 3, cuyos datos característicos son:

Tensión nominal: 3 KV.

Relación de transformación: 800/5 A.

Potencia nominal para Clase 1: 15 a 30 VA.

Clase de aislamiento: Material prensado.

Necesitamos pues, seis transformadores de intensidad tipo AL 3, para disponer la protección diferencial de las tres fases. La conexión del relé de protección de sobre intensidad se la realizará en asocio con la protección diferencial.

5.2.) Elección de transformadores de tensión.

Los transformadores de tensión se construyen para determinadas tensiones primarias, admitiendo una tensión de servicio de 1,2 veces la tensión nominal. La tensión secundaria se ha fijado uniformemente en 100 voltios y excepcionalmente 110 voltios. En sistemas americanos el voltaje standard es de 120 voltios.

El valor de la tensión primaria, dividido por la tensión secundaria, representa la relación de transformación del transformador. La variación en tantos por ciento de la tensión secundaria respecto a su valor adecuado, así como su desfase respecto de la tensión primaria, fijan la precisión del transformador, el cual, de acuerdo con el valor de este error se ajusta a las diversas clases de precisión. En los transformadores de tensión se utilizan, generalmente, las clases 0,2 - 0,5 y 1.

Clasificación para transformadores de tensión.

Clase	Tensión	Error de tensión	Error de decalaje
0,2	80 ..... 120%	$\pm 0,2 \%$	$\pm 10'$
0,5	80 ..... 120%	$\pm 0,5 \%$	$\pm 20'$
1	80 ..... 120%	$\pm 1 \%$	$\pm 40'$

Las clases 0,2 y 0,5 se utilizan para mediciones de precisión, así como en mediciones exactas de servicio, y para ali-



mentación de relés resulta suficiente la clase 1. La clase 3 tiene una importancia secundaria, ya que en transformadores de tensión, por lo menos en la clase 1, se dispone prácticamente en todos los casos de suficiente potencia de medición.

La potencia con la que se puede cargar a estos transformadores sin rebasar sus correspondientes límites de error, se llama potencia nominal en VA.

En una carga de  $1/2$  a  $2/3$  de la potencia nominal, el transformador de tensión presenta generalmente el mínimo de error, resultando que, a dicha carga, casi siempre tiene los límites de error que corresponden a la clase inmediatamente superior. También, se puede calcular que los transformadores de tensión pueden cargarse con 1,5 veces su potencia nominal, sin que por eso sobrepasen los límites de error correspondientes a la clase inmediata inferior. Generalmente, todos los transformadores de tensión se pueden cargar hasta con la potencia límite que se indica en su placa de características, la cual, con vistas al sobrecalentamiento no se deben sobrepasar.

La carga que van a soportar los transformadores de tensión, corresponde para el sistema de protección, únicamente al relé de sobretensión RUF mod. cuyo consumo es de 7 VA.

Para el caso de nuestro ejemplo, que tiene el alternador una tensión de 2.300 voltios, escogemos transformadores de

tensión de la AEG, tipo VP 3, cuyos datos característicos son los siguientes:

Serie: 3 KV.

Tensión nominal: 2.300 V.

Clase de construcción: Transformador monofásico

Transformación nominal: 1 ... 3/0,1 KV.

Potencia nominal (clase 1): 60 VA.

Clase de aislamiento: seco

Como la potencia de la carga es apenas  $> 12\%$  de la potencia del transformador, utilizaremos el mismo núcleo de transformadores de tensión para la conexión de los instrumentos de medida, en esta forma la carga será:

1 Voltímetro indicador (V.)	3,5 VA.
1 Contador de potencia activa (Wh.)	3 VA.
1 Medidor del factor de potencia ( $\varphi$ )	3,5 VA.
1 Vatímetro indicador (W.)	2 VA.
1 Relé RUF mod. de sobretensión	7 VA.
~ 20 mts. de conductor de cobre de 4 mm <sup>2</sup>	4,4 VA.
	<hr/>
	23,4 VA.

Tenemos pues, que la potencia de carga va a ser de aproximadamente  $1/2$  de la potencia del transformador. Por razones de economía, usaremos dos transformadores tipo VP 3, para instalarlos en conexión en V.

Los instrumentos indicadores que deben conectarse a transformadores de intensidad, deberán estar suplidos por un núcleo de transformadores independiente del núcleo de aparatos de protección. De esta manera, la potencia de carga de los instrumentos a instalarse en un nuevo núcleo de transformadores de intensidad será:

3 Amperímetros (A.)	3 VA.
1 Contador de potencia activa (Wh.)	1 VA.
1 Medidor de factor de potencia ( $\varphi$ )	5 VA.
1 Vatímetro indicador (W.)	2,5 VA.
~ 20 mts de conductor de cobre de 4 mm <sup>2</sup>	4,4 VA.
	<hr/>
	15,9 VA.

En esta forma, escogemos otros tres transformadores de intensidad tipo AL 3, cuyas características ya habíamos señalado.

### 5.3.) Alimentación auxiliar de corriente continua.

Con el fin de disponer de energía eléctrica, independiente de la corriente producida por el generador, para el accionamiento de las bobinas de los relés, alumbrado de emergencia, señalización, etc., se debe contar con una fuente de energía eléctrica auxiliar.

Para esto, se usan baterías de acumuladores, especialmente baterías de plomo y en algunos casos baterías de acero.

La capacidad de una batería de acumuladores, se determina por el tiempo que la batería debe proporcionar corriente para los menesteres de la emergencia, y la intensidad de corriente que se consume en ese tiempo. El número de elementos de la batería, viene dado por la tensión nominal de la misma, la tensión a los bornes de cada elemento (baterías de plomo 2,2 V., elementos de acero 1,4 V.), y por las tolerancias de tensión admisibles para la batería y la carga.

Para mantener la carga óptima de las baterías, éstas funcionan, casi siempre, en servicio de carga permanente, en donde, como aparatos de recarga de corriente, se usan de preferencia rectificadores secos de características especialmente adaptadas, con mando por relés o regulación magnética.

Las tensiones normalizadas de baterías, son 24, 60, 65, 110 y 220 V., pudiendo en todo caso variar estos valores, para ser adaptados a los valores de tensión requeridos por los aparatos de mando y señalización. La tensión de 220 V. se usa en las grandes centrales transformadoras y centrales eléctricas. Las instalaciones medianas tienen suficiente con baterías de 110 V. y para mandos a distancia, bastan las tensiones de 60 o 65 V. Las baterías de 24 V. sirven para la alimentación de instalaciones de señalización.

En baterías de plomo, con un tiempo de descarga  $\geq 3$  horas, las tensiones de régimen superiores e inferiores máximas

admisibles del consumo, coinciden con las de las baterías de acumuladores, cuando las baterías de 60 V. tienen 28 elementos, las de 65 V., 30; las de 110 V., 52 y las de 220 V., 103 elementos.

En el caso de nuestro ejemplo, la alimentación de energía auxiliar, para los dispositivos de protección diseñados, la obtendremos de la misma batería de acumuladores, existente en el lugar de instalación de nuestro grupo, para servicio de las otras unidades instaladas.

La fuente auxiliar de energía eléctrica instalada, tiene las siguientes características:

Batería de 30 acumuladores de plomo - ácido.

Tipo: YGGL 5 AF

Marca: Chloride Battery

Capacidad de descarga en 10 horas continuas: 188 Amp./hrs. a 25 °C.

Tensión: tampón / elemento 2,2 V.

Al hacer la selección de los aparatos de protección, ya habíamos tomado en cuenta que la tensión de alimentación de c. d. de éstos, sea de 65 V., para poder utilizar la fuente eléctrica auxiliar existente.

La carga máxima instalada en aparatos, que debe ser abastecida con la corriente continua auxiliar, es la siguiente:  
Aparatos de protección.

Accionamiento del relé de sobreintensidad RSZ3f:	20 W.
Accionamiento del relé diferencial QS4:	20 W.
Accionamiento del relé de tiempo RZf:	20 W.
Aparatos de aviso.	
Lámpara de indicación del interruptor de potencia	15 W.
Lámpara de indicación del int. de desexcitación	15 W.
Lámpara de indicación de relé accionado	10 W.
Aparatos de mando.	
Accionamiento del interruptor de desexcitación	30 W.
	<hr/>
	130 W.

Al examinar la capacidad de la batería existente, comprobamos que se puede instalar la potencia adicional, de las bobinas de accionamiento de nuestros aparatos y lámparas de aviso, ya que la carga permanente es pequeña y la carga momentánea será suplida por la batería (considerando la simultaneidad), en la misma forma que para los otros grupos.

La indicación de accionamiento de un relé, se obtendrá por medio de lámparas de aviso, instaladas junto a cada relé, que se encenderán cuando ha funcionado el respectivo dispositivo de protección.

6.) SELECCION Y APLICACION DE SISTEMA DE DESEXCITACION.-

Habíamos visto que, cuando los dispositivos de protección actúan sobre el sistema de desconexión del alternador, se hace necesario también, reducir la tensión de la máquina lo más rápidamente posible, con el objeto de disminuir el peligro de daños que pudieran ocasionarse. Esto se consigue, mediante los dispositivos de desexcitación rápida.

En nuestro caso, como se trata de un alternador de mediana potencia, será suficiente usar, para la debilitación del campo, una resistencia  $R_s$ , conectada en el circuito de derivación de la excitatriz, y simultáneamente, otra resistencia  $R_e$  en el circuito del rotor del generador. Estas resistencias permanecerán puenteadas mediante el interruptor de dos contactos FA, durante el servicio normal de la máquina.

Para tener en cuenta la magnitud de las puntas de tensión que se presentan al conectar la resistencia de desexcitación  $R_s$ , el valor de dicha resistencia no debe ser mayor de 5 a 6 veces el valor de la resistencia del inductor; y  $R_e$ , de aproximadamente 10 veces el valor de la resistencia del campo.

Al producirse el disparo del interruptor de desexcitación (manual por medio de B/FA, o automático por medio de los relés

de protección), se abren los contactos del interruptor FA, con lo cual se produce la destrucción de la energía del campo magnético del alternador, mediante su transformación en calor en las resistencias, al quedar éstas intercaladas en el circuito de excitación, en la forma que habíamos indicado. (Para referencia, ver plano N° 8-2.)

En el interruptor de desexcitación irán dispuestos un par de contactos (1), los cuales llevarán una señal de tensión al interruptor principal de potencia, para producir su disparo inmediato, cuando se produce la desconexión del interruptor de desexcitación. Otros contactos (2) y (3), en posiciones de reposo y trabajo, controlarán a dos lámparas indicadoras M/FA, para la señalización de interruptor abierto o interruptor cerrado.

La bobina de cierre del interruptor de desexcitación, accionará mediante la orden manual del botón de arranque B/FA, y se alimentará con corriente continua de 65 V., tomada de la fuente auxiliar de energía, a través de un circuito formado por los contactos LS 10 y de los contactos auxiliares (4) y (5) del interruptor. La bobina de disparo se accionará, mediante orden manual, con el botón de parada B/FA, o señal recibida de cualquiera de los relés de protección.



7.) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

A base de los dispositivos que hemos escogido para equipar el alternador, cuyo sistema de protección hemos diseñado, vamos a sacar conclusiones sobre la discriminación para el uso de los diversos dispositivos, de acuerdo al tipo de alternador, su forma de instalación, máquina motriz y su relación con el sistema.

En el cuadro que sigue, vamos a establecer muestra posición de acuerdo a las necesidades generales de protección de los alternadores y a las protecciones efectivamente usadas por nosotros en el caso del grupo del ejemplo, cuyas características específicas hemos indicado.

Clase de defecto	Defectos protegidos	No protegidos
Cortocircuito entre fases	(D)	
Cortocircuito entre espiras		X
Cortocircuito a tierra	(D)	
Contacto a tierra del rotor		X
Pérdida de la excitación	(S.I)	
Sobreintensidad	(S.I)	
Sobretensión	(S.T)	
Cargas desequilibradas		X
Sobrecalentamiento	(T.R)	

Sobrevelocidad	(C)	
Motorización		X

Significado de las abreviaturas de las protecciones:

(D) Relé diferencial

(S.I) Relé de sobreintensidad

(S.T) Relé de sobretensión

(T.R) Termómetro de resistencias

(C) Interruptor centrífugo.

Vemos pues que, no hemos previsto elementos de protección para cuatro casos de defectos, que son:

- a.) Cortocircuito entre espiras,
- b.) Contactos a tierra del rotor,
- c.) Cargas desequilibradas, y
- d.) Motorización.

Las consideraciones tomadas en cuenta para no incluir protecciones específicas para controlar los cuatro defectos señalados han sido:

No son aplicables a nuestro caso: caso a.)

Están cubiertos por las protecciones del sistema: caso c.)

Disponibilidad de personal de vigilancia: caso b.)

Rara de posibilidad de avería: caso a.)

De orden económico: a, b, y d.)

Así pues, en vista de las características de nuestro alternador y de acuerdo a los factores que deben ser considerados para la elección de los dispositivos de protección a usarse, que habíamos señalado en la página 5, hemos escogido un conjunto de elementos para nuestro sistema de protección, y de este estudio extraemos las siguientes recomendaciones:

- 1.) Dada la importancia de los dispositivos de protección y las consecuencias que puede acarrear su falta de funcionamiento, es necesario someterlos a verificación periódica de regulación y funcionamiento, mediante pruebas simulando las fallas. La regulación de los relés deberá hacerse en forma cuidadosa siguiendo las indicaciones dadas por los fabricantes para cada relé.
- 2.) Para facilidad de instalación de los elementos de protección, es conveniente usar alternadores con conexión en estrella, cuyo punto neutro pueda ser realizado en el exterior de la máquina.
- 3.) El personal de vigilancia debe hallarse debidamente instruido y contar con los elementos necesarios para realizar aquellos chequeos que suplen a la instalación de dispositivos automáticos, y ser lo suficientemente capaz par actuar en el caso de presentarse averías.
- 4.) La protección diferencial debe realizarse en las tres fases para que ésta sea completa, y además, para que sea efectiva la protección

contra defectos a tierra.

5.) Hay veces en que las protecciones para una determinada falla, instaladas en el sistema principal, hacen innecesario el uso de las mismas en otros grupos del sistema.

6.) Cuando se ha decidido usar un elemento de protección dado, cuya elección a sido hecha en base a tantas consideraciones que hemos visto, el aparato escogido debe ser de la más alta calidad, ya que economías en este sentido desvirtuarían la elección realizada.

7.) Considerando, que todas las averías que se presentan en cualquiera de las partes de la instalación de un sistema eléctrico, se traducen en anomalías dentro del alternador, es conveniente disponer de las protecciones necesarias en todas y cada una de las partes del sistema (máquina motriz, estaciones transformadoras, líneas de transmisión, redes, etc.), para evitar problemas en el alternador.

8.) El tipo de máquina motriz utilizada, determina el uso y la regulación de ciertos dispositivos de protección.

9.) Debido a su naturaleza, hay fallas que provocan la desconexión del grupo eléctrico, y otras que sólo dan indicación, para que sea el personal de vigilancia quién actúe, corrigiendo la falla o desconectando la máquina.

10.) Se debe diseñar en núcleos separados, los transformadores de intensidad para uso con los aparatos de medida y para uso con los elementos de protección.

11.) Hay que tratar de ubicarse con la carga de los transformadores de medida entre  $1/2$  a  $2/3$  de la potencia nominal del transformador, para reducir el porcentaje de error.

12.) Al instalar transformadores de tensión, dispuestos en conexión en V, la capacidad instalada es superior a la necesaria en un 15,5%.

13.) En vista de que el buen funcionamiento de los relés de protección, depende del correcto suministro de corriente auxiliar, se debe prever, que la carga de la batería de acumuladores sea siempre correcta, para lo cual es necesario disponer de un cargador de repuesto, así como, la instalación de distribución debe ser debidamente articulada y protegida por fusibles agrupados según la importancia de la carga, dando preferencia a las conexiones de circuitos de trabajo.

BIBLIOGRAFIA.

Protective Relays Application Guide  
The English Electric Company Limited  
St. Leonards Works. Stafford.

1.967

Applied protective relaying  
A new "Silent Sentinels" publication  
Westinghouse Electric Corporation  
Newark, New Jersey

1.958

The art and Science of protective relaying  
C. Russell Mason  
General Electric Company  
Schenectady, N. Y.

1.964

Electrical Control and Indication for Switchgear  
A. Reyrolle & Co. Ltd.  
England

1.966

Instrument Transformer Technical data for metering,  
relaying, indicating

Westinghouse Electric Corporation

January 1.959

Manual AEG (Novena edición)

Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft

Berlin

1.967

AEG Manual para instalaciones eléctricas de alumbrado  
y fuerza motriz (Septima edición)

Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft

Germany

1.956

Curso de electrotecnia (Novena edición)

José Morillo y Farfán

Tomo III. Madrid

1.963

La protección de los alternadores trifásicos

AEG. Frankfurt (Main) Alemania

1.960

Manual Standard del Ingeniero Electricista

Tomo I

Archer E. Knowlton

L.962

Estaciones Transformadoras y de Distribución

Gaudencio Zoppetti Júdez

Barcelona - España

L.955

El Relé en la industria

Enrique Mazza

Marcombo S. A.

L.957

Stationary and Marine Battery Instructions

Publication 12 (5th. Edn)

NIFE Batteries

England

L.966

Thermo - Electric Pyrometer Indicators

Instruction 01389/4


























Negretti & Zambra






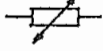



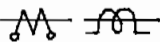



England

L.968



SIMBOLOGIA.

-  corriente continua en general
-  corriente alterna
-  línea en general
-  línea con designación de su aplicación
-  resistencia óhmica en general
-  condensador en general
-  bobina de reactancia en general
-  transformador de medida en general
-  variabilidad automática continua
-  resistencia óhmica, variable escalonadamente
-  fuente de corriente galvánica (pila, acumulador, batería)
-  toma de tierra en general
-  contacto en general con unión no separable
-  contacto con unión separable, p. ej. bornes
-  contacto momentáneo
-  órgano de ruptura, contacto de reposo
-  órgano de conexión, contacto de trabajo
-  órgano de conmutación
-  accionamiento electromagnético
-  accionamiento por motor
-  bornes en serie, p. ej. 1,2 unión fija. 3,4 unión separable
-  fusible en general
-  fusible seccionador
-  interruptor de potencia en general
-  bocina en general

	instrumento de medida en general
	aparato de medida integrador
	sistema de medida con una vía de tensión
	sistema de medida con una vía de corriente
	sistema de medida para formar sumas o diferencias
	sistema de medida para formar productos
	aparato de relé en general
	avisador luminoso en general
	rectificador de semiconductor
	resistencia con valor dependiente de la temperatura
	bobina de choque, reactancia o arrollamiento de transformador
	generador de corriente alterna en general
	generador de corriente continua en general
	motor de corriente alterna en general
	shunt, elemento térmico
	encuadramiento para aparatos
	transformador de intensidad
	accionamiento manual
	timbre en general
	alternador conectado en estrella