

Electrificación de la rampa de Pajares ⁽¹⁾

por

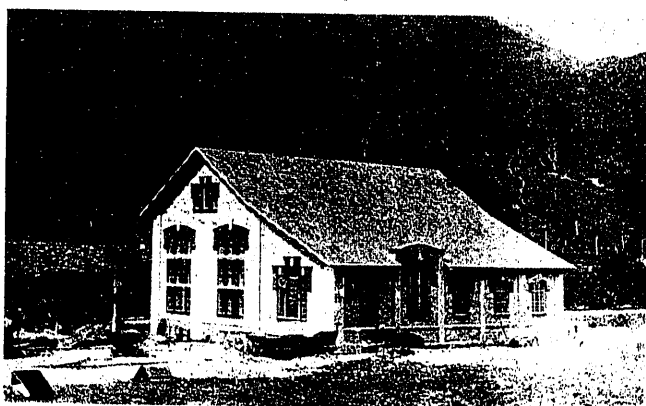
Ricardo F. Hontoria y José María G. Lomas,**Ingenieros de Caminos**

VII

SUBESTACIONES TRANSFORMADORAS**Disposición general**

Como ya hemos dicho, las subestaciones transformadoras son dos, situadas una en Cobertoria y otra en Pajares, e interconectadas por una línea trifásica a 30 000 voltios (fig. 5.ª, n.º 2 392, pág. 218).

Los edificios y equipos de ambas subestaciones son idénticos, por lo que nos limitaremos a la descripción de una cualquiera de ellas.



Subestación de Cobertoria. Vista general.

La planta de la subestación es rectangular y el edificio está dividido en dos salas; en la más pequeña van dispuestos los transformadores principales, así como todos los aparatos de alta tensión (barras ómnibus a 30 000 voltios, interruptores en aceite, pararrayos, etcétera). La otra sala contiene los grupos motores-generadores, los cuadros de distribución, tanto de alterna como de continua, y una pequeña oficina. Sobre los cuadros de continua, y formando voladizo, se encuentra la galería de interruptores de los generadores y *feeders* y un cuarto para la batería de socorro de la subestación.

El edificio es de sillería y ladrillo, con amplios ventanales y cubiertas de gran inclinación sobre cerchas metálicas, para evitar la acumulación de la nieve. Las bancadas de los grupos motores-generadores y el piso de la sala de éstos sobre las galerías de ventilación son de hormigón armado, así como las pilastras que, enbebidas en la fachada principal de la subestación y en el muro de separación de ambas salas, sostienen las cerchas de la cubierta y las vigas-carriles sobre las que corre el puente-grúa. Esta grúa, movable a mano y por medio de motores eléctricos

(trifásicos a 220 voltios), se utiliza para el montaje y reparación de los grupos y para la limpieza de los transformadores principales; al efecto, se transportan éstos sobre un carretón y por medio de una vía y placa a la sala de continua, en la que existe un foso (normalmente cubierto por un entramado desmontable) que se utiliza para poder extraer los núcleos de los transformadores, una vez que con el puente-grúa se han depositado éstos en el fondo de aquél.

En las figuras 21 y 22 se representan las disposiciones generales de la planta y alzado de una subestación.

La línea de alta tensión procedente de la instalación de aparatos de medida (fig. 4.ª, núm. 2 392 de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS) penetra en la subestación a través de manguitos aisladores colocados horizontalmente en una ventana especial de la sala de transformadores. Sobre la llegada de línea y en el interior de la citada sala se conecta, por medio de seccionadores, un pararrayos a película de óxido, intercalándose también antes de las barras ómnibus las correspondientes bobinas de choque.

Las barras ómnibus a 30 000 voltios, formadas por tres tubos de cobre de 19 mm de diámetro, así como todo el material de aisladores para bobinas, desconectores y seccionadores, etc., va montado sobre una estructura metálica colgada de las armaduras que sostienen la cubierta de la sala.

Cada subestación lleva actualmente colocados dos grupos de tracción, entendiéndose por esto el conjunto de elementos (transformadores, grupos motores-generadores, interruptores, etc.) correspondientes



Subestaciones transformadoras. Sala de alta tensión

a una unidad completa desde los 30 000 voltios alterna trifásica a los 3 000 voltios continua, estando previsto otro grupo completo, del que se han instalado todos los elementos accesorios (bancadas, estructuras metálicas, etc.) a fin de reducir a un

(1) Véanse los números 2 385, 2 386, 2 387, 2 392, 2 395 y 2 402 de la REVISTA, páginas 88, 103, 127, 216 y 273 del tomo I de 1923 y 110 de 1924.

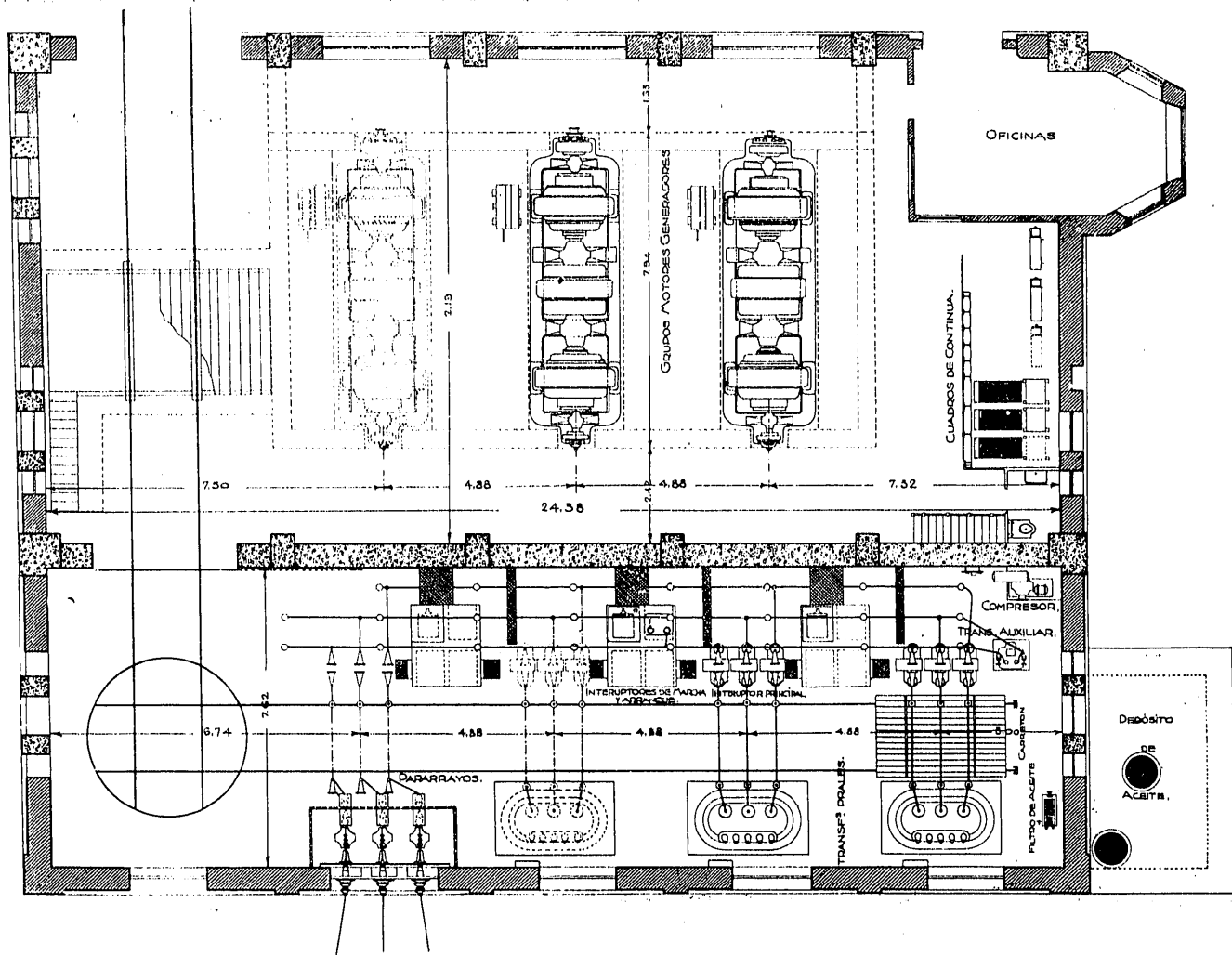


Fig. 21. Planta general de la Subestación

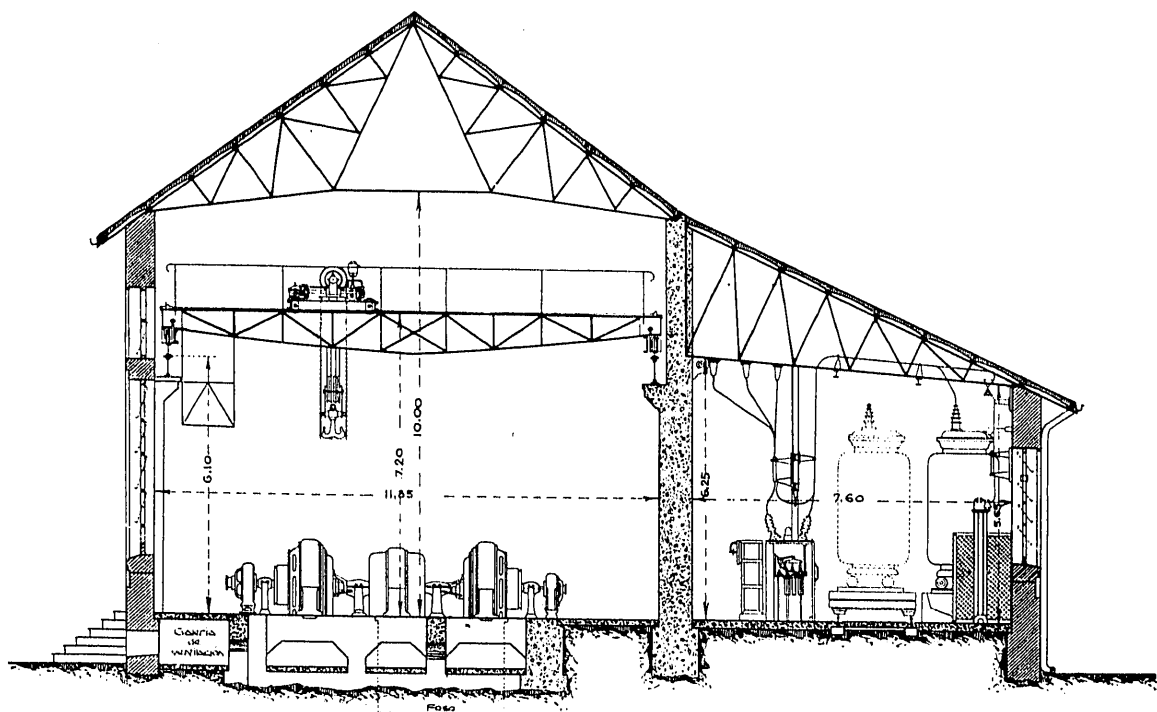


Fig. 22. Corte transversal

mínimo las molestias y tiempo necesario para su futura instalación.

Conexiones de alta tensión

Las barras omnibus a 30 000 voltios corren paralelamente a la fachada de la sala y de ella se derivan los transformadores principales a través de interruptores tripolares en aceite, conectados a dichas barras por medio de seccionadores.

Estos interruptores tienen una capacidad de interrupción de 1 450 amperios a 50 000 voltios y van montados sobre un armazón tubular, pudiendo ser accionados a mano desde los cuadros de alterna o automáticamente por medio de dos bobinas de máxima y tiempo alimentadas por dos transformadores de intensidad; el disparo del interruptor provoca el cierre

impide de este modo que la subestación pueda alimentar un cortocircuito sobre aquélla.

Ambos interruptores de baja tensión van colocados en celdas de fábrica divididas en cuatro compartimientos y cerradas con puertas de asbesto; estas celdas se disponen entre los interruptores principales (figura 21) y contienen también los cuatro transformadores de intensidad y dos de tensión que alimentan los aparatos de medida.

Van éstos montados sobre dos cuadros de pizarra negra por grupo de tracción, uno para el transformador y otro para el motor síncrono, colocados de uno y otro lado de las pilastras en la sala de grupos motores-generadores. El cuadro del transformador sólo lleva la palanca de maniobra mecánica del interruptor principal, con su mecanismo de disparo a mano; el cuadro del motor síncrono y excitatriz se compone de los siguientes elementos: un amperímetro con clavijas, sobre la línea general; un amperímetro de campo con shunt para el motor síncrono; un indicador de volt-ampères reactivos; un contador de w-h; un mecanismo por medio de dos volantes concéntricos acciona los reóstatos de campo del motor y de su excitatriz; un interruptor bipolar de una dirección con resistencia de descarga, para la excitación del motor síncrono (fig. 23); las palancas de maniobra de los interruptores principal y de arranque con sus enclavamientos; un relé de inversión de corriente y dos relés de máxima y tiempo.

Existe, además, un voltímetro para la medición del voltaje de la línea de alta tensión, derivado de un transformador de potencial conectado directamente a ésta.

Transformadores principales

Los transformadores principales son trifásicos, de 50 períodos por segundo y con refrigeración natural en baño de aceite, verificándose la circulación y enfriamiento de éste a través de tres series envolventes de tubos mandrinados en los bordes superior e inferior de la cubeta de fundición que contiene el núcleo.

La capacidad normal es de 1 900 kv-a y la relación de transformación 30 000/3 500, voltaje este último al que trabaja el motor síncrono de los grupos. El arrollamiento primario es en estrella (fig. 23), y va provisto de cuatro terminales auxiliares (interiores) para regular el voltaje por escalones de $2\frac{1}{2}$ por 100 próximamente bajo el normal, pudiéndose, sin embargo, alcanzar la plena capacidad sin exceder los aumentos normales de temperatura; tres sectores sobre la cubierta del transformador sirven para efectuar esta regulación, indicándose en una plancha de cobre los esquemas y combinaciones a efectuar en cada caso según el voltaje primario.

A su vez el devanado secundario en triángulo (doble Z) posee dos terminales suplementarios para el arranque del motor síncrono, que se verifica como motor asíncrono a mitad de tensión (1 750 voltios).

La sobrecarga que pueden resistir estos transformadores con un aumento de temperatura de 60° C es de un 50 por 100 de la carga normal durante dos horas; su rendimiento a plena carga es de 98,1 por 100 y no baja de 97,8 por 100 para las condiciones más desfavorables. A la frecuencia y capacidad normales y para una temperatura de 75° C la regulación es de 1,3 por 100. El peso de un transformador completo es de 9 600 kg y 5 600 kg el del aceite necesario.

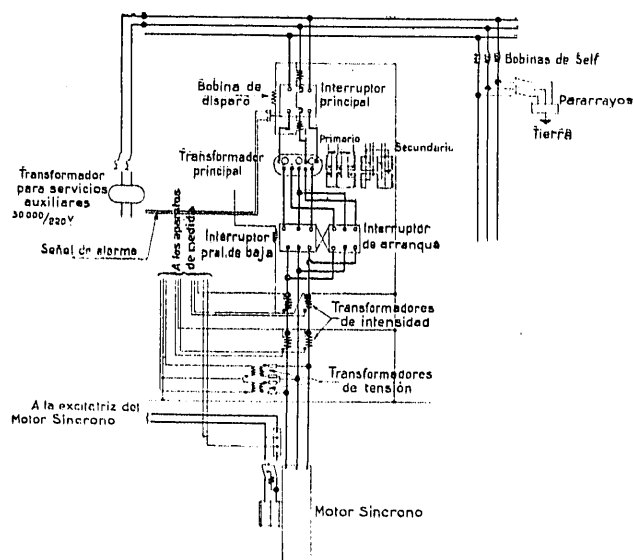


Fig. 23. Conexiones de alterna para un grupo de tracción

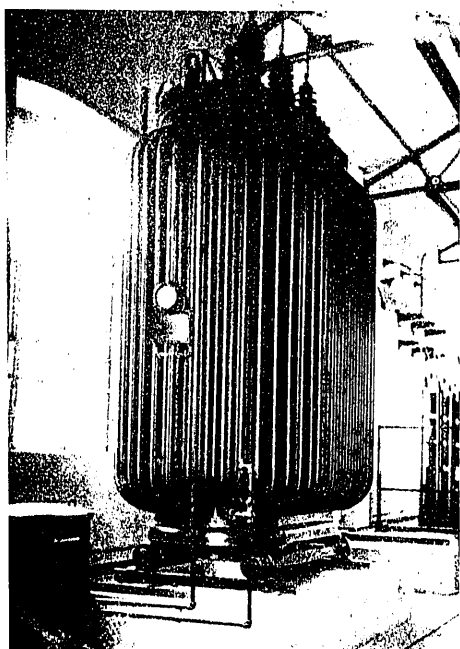
de un contacto que pone en circuito una bocina de aviso (fig. 23).

Después del transformador principal se encuentran otros dos interruptores en aceite: uno automático sobre la línea general a 3 500 voltios del secundario del transformador, provisto de mecanismo de maniobra desde el cuadro y contacto de alarma sobre la bocina, y otro, accionado a mano solamente, sobre la línea auxiliar derivada también del transformador para el arranque del motor síncrono de los grupos motores-generadores a mitad de tensión.

Ambos interruptores son tripolares y están provistos de un enclavamiento mecánico de tiempo límite, impidiéndose que puedan estar cerrados ambos a la vez y que tenga lugar el arranque del motor síncrono excepto en los terminales de arranque.

El accionamiento del interruptor automático puede también verificarse por medio de un «relé de inversión de corriente», que produce el disparo del interruptor cuando la corriente que pasa en sentido inverso del normal (correspondiente a la alimentación de la subestación por la línea de trabajo) alcanza un valor determinado. Esto sucede cuando al marchar en recuperación los trenes descendentes sobre la rampa, el exceso de energía no consumida por los ascendentes es devuelta a la subestación, que entonces funciona como generadora sobre la línea de alimentación; se

Los transformadores van montados por medio de ruedas sobre carriles dispuestos en unas cubetas especiales de hormigón; para su transporte al foso de reconocimiento y limpieza, basta rodarlos desde las



Subestaciones transformadoras. Transformador 1900 kv-a, 30 000/3 500 v.

cubetas al carretón metálico, que, como ya hemos dicho, corre sobre la vía a lo largo de la sala. Como elementos accesorios van provistos de un respiradero (para el aceite), un termómetro de mercurio, un nivel de aceite, una válvula para extraer muestras de éste y otra de desagüe para el mismo.

Se ha concedido atención especial a la conservación de las propiedades dieléctricas del aceite, que, como es sabido, disminuyen notablemente con la presencia en el mismo de humedad o impurezas. Al objeto, los transformadores van dotados de un sistema de tuberías para la carga y descarga, en comunicación estas últimas con un depósito de aceite dispuesto en una cámara subterránea adosada a la subestación, y aquéllas con el mismo depósito a través de un aparato filtrador, formándose así un circuito cerrado.

La capacidad del depósito es la necesaria para contener todo el aceite de un transformador, y va provisto, lo mismo que las cubetas de hormigón sobre las que descansan los transformadores, de un desagüe de fondo en comunicación con el vertedero, para la eliminación directa del aceite quemado o inútil.

El aparato filtrador es portátil y se compone, en esencia, de una bomba de aceite (movida por un pequeño motor monofásico a 220 voltios), que extrae éste del depósito y lo fuerza a través de un filtro formado por una batería de placas de hierro fundido acanaladas vertical y horizontalmente y alternadas con capas de papel secante especial, a las que se adosan. Las impurezas quedan retenidas por el papel, lo mismo que el agua, pues la atracción capilar del papel es mucho mayor para ésta que para el aceite. Complemento de este aparato es un horno secador para el papel secante, ya que de la ausencia de humedad en éste depende el éxito de la operación; el papel se seca durante veinticuatro horas y por debajo de 85° C,

saturándosele en caliente con aceite seco en el momento de retirarlo del horno.

La capacidad del filtro es de 45 litros por minuto y la presión a que trabaja de 6 kg por cm².

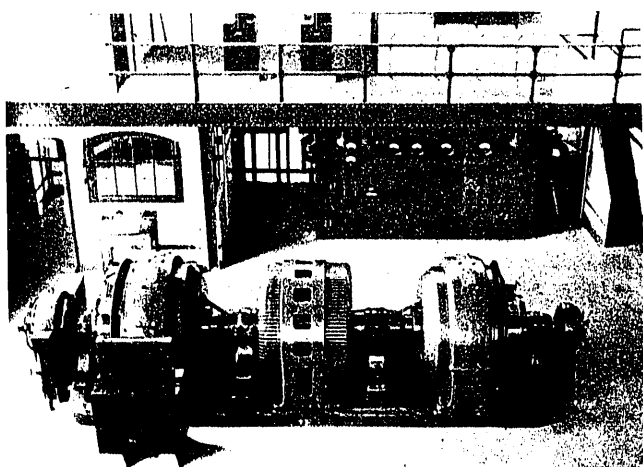
Grupos motores-generadores

Los grupos motores-generadores de 1 500 kw y 3 000 voltios se componen de un motor síncrono trifásico de 50 períodos por segundo, 1 900 kv-a, 3 500 voltios, 600 revoluciones por minuto y dos generadores de corriente continua, de 750 kw y 1 500 voltios permanentemente en serie.

Cada grupo se apoya sobre cuatro cojinetes, y la bancada general de fundición descansa, según ya hemos dicho, sobre otra formada por vigas de hormigón armado bajo el piso de la sala de máquinas (figura 22). El rotor del motor síncrono va colocado sobre los dos cojinetes centrales y su árbol lleva en cada extremo un platillo para el acoplamiento de una dinamo a 1 500 voltios; el árbol de cada una de éstas se prolonga más allá del cojinete extremo para recibir una excitatriz colocada en voladizo. Una de las excitatrices de 9 kw 125 voltios sirve para la excitación de los generadores, y la otra, de 16 kw 55/175 voltios para la excitación del motor síncrono.

Estos grupos son de robusta construcción y capaces de soportar sobrecargas muy considerables para cubrir las «puntas del servicio», llegando a admitir un 50 por 100 de la normal durante dos horas y un 200 por 100 durante cinco minutos, sin que, en condiciones normales de ventilación, el aumento de temperatura en los devanados principales exceda de 60° C.

El rendimiento de los grupos, para un factor de potencia $\cos \varphi = 0,9$, es de 89,2 por 100 a plena carga



Subestaciones transformadoras. Grupo motor-generador y cuadros de corriente continua

y de 90,5 por 100 y 84,5 por 100, respectivamente, para 150 por 100 y 50 por 100 de la misma, habida cuenta de todas las pérdidas, incluso en la excitación. El peso de cada grupo completo es de unas 50 toneladas.

Los campos de los generadores y excitatrices están de tal modo combinados (fig. 24) que se consigue una marcha estable a todas las cargas; una de las particularidades más interesantes del grupo reside en la excitatriz del motor síncrono.

Este motor tiene que soportar variaciones de carga considerables y debe, además, funcionar como alternador durante la recuperación, soportando en juno y

compound con polos de conmutación P; el devanado serie V posee un simple shunt de reglaje y el campo de derivación D lleva un reóstato R_4 accionado a mano.

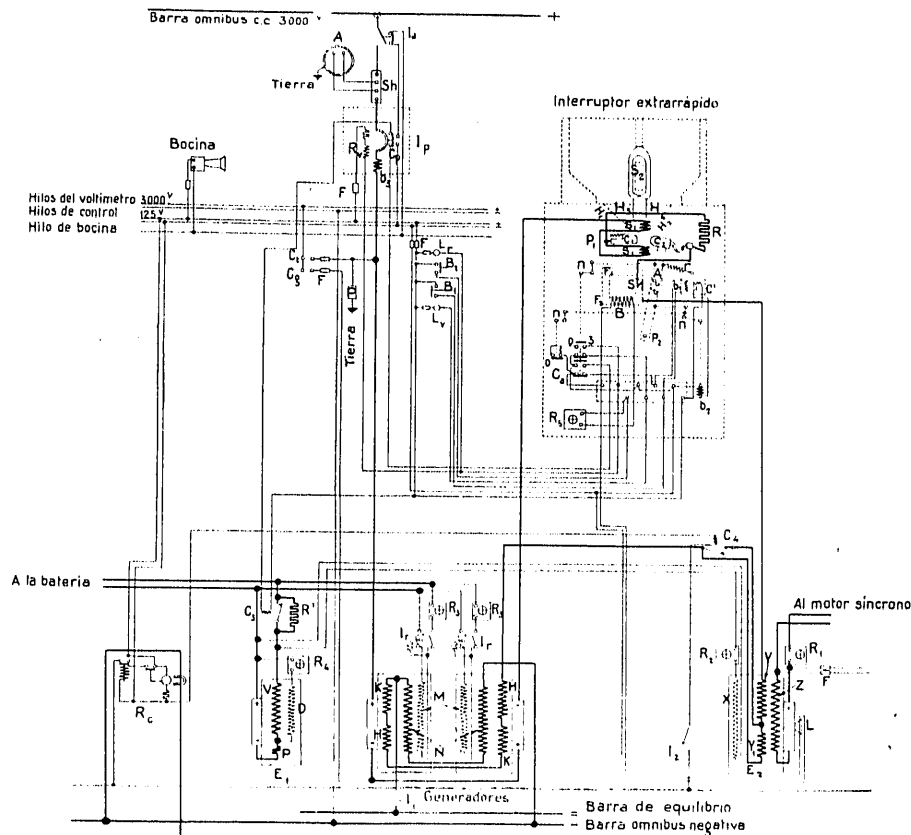


Fig. 24. Esquema de conexiones para un grupo motor-generator

otro caso las sobrecargas antes consignadas. En ambas fases de su funcionamiento deberá también (con objeto de no introducir perturbaciones en la red de alimentación) mantenerse su factor de potencia alrededor de la unidad, y esto desde una carga del 50 por 100 de la normal hasta el 300 por 100 de la misma, con una caída de tensión aceptable sobre la línea para este último caso.

Para realizar estas condiciones y calculados en consecuencia los valores que deberá tomar la excitación del motor síncrono en función de su carga como motor o como generador, ha sido preciso proveer al inductor de la excitatriz del motor síncrono de los tres devanados siguientes:

1.º Un devanado de excitación independiente X, alimentado por la excitatriz a 125 voltios de los generadores.

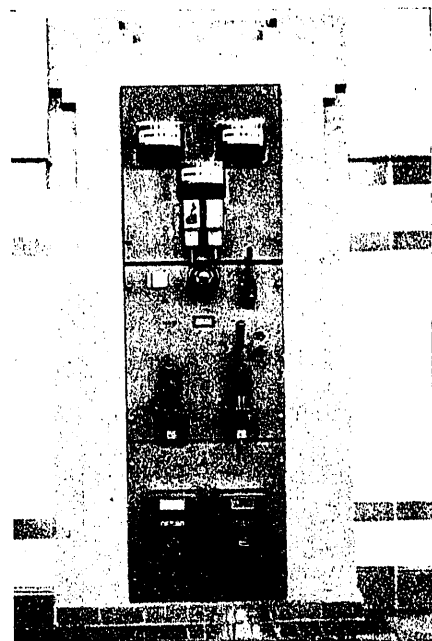
2.º Un devanado serie principal Y_1 , concordante con el X en marcha normal; para la marcha en recuperación este devanado se pone en cortocircuito por medio del contacto accionado por el «relé de inversión de corriente».

3.º Un devanado serie inverso Y, colocado igualmente en el circuito serie de los generadores inmediato al devanado Y_1 , y que obra en sentido inverso del X en marcha normal.

La excitatriz posee, además, un devanado serie Z para el campo de conmutación; el arrollamiento X posee un reóstato de regulación R_2 , mientras que los devanados serie Y e Y_1 no poseen más que shunts ajustables.

La excitatriz E_1 de los generadores es una dinamo

Los generadores a 1500 voltios conectados en serie de modo permanente son dinamos compound de excitación independiente con polos de conmutación



Subestaciones transformadoras. Cuadro de un motor síncrono

ción; todos los devanados inductores, independientes M, series principales N, de conmutación K y de compensación H, van colocados entre las armaduras

y tierra para reducir la tensión respecto a la masa y favorecer su aislamiento; esta disposición facilita igualmente la regulación inicial para equilibrar los grupos de una misma subestación. Sobre los devanados de excitación independiente M se disponen los reóstatos R_3 accionados a mano, que permiten mantener el equilibrio entre los generadores de los grupos; la repartición de la carga entre éstos se logra también con una barra de equilibrio, a la que se conecta el grupo con el seccionador I_1 , enclavado mecánicamente con el I_2 , que abre a mano el circuito del contacto C_1 para la marcha en recuperación.

La ventilación de los grupos motores-generadores, dadas las grandes sobrecargas que deben soportar, es análoga a la empleada en motores de tracción de gran potencia; la armadura lleva conductos de ventilación paralelos al eje, a los que se envía el aire por medio de dos coronas de álabes dispuestas en aquella y de las cuales una aspira el aire por los conductos que atraviesan el colector y el inducido, y la otra aspira el aire en el entrehierro. El aire del exterior penetra en una galería de ventilación (fig. 22), dispuesta en el subpiso de la sala de máquinas, y de allí se distribuye a los grupos bajo las estructuras de hormigón armado de las bancadas.

Los grupos motores-generadores se sometieron en Schenectady (E. U. de A.) y en presencia de la Comisión de la Compañía del Norte, que visitó las instalaciones de la General Electric Co., a las pruebas siguientes:

1.^a Se sometió cada grupo a una carga triple de la normal, sin que se observaran chispas en el colector.

2.^a Producción de un cortocircuito en la línea exterior de corriente continua de una longitud equivalente a dos millas con resistencia de 0,12 ohmios e inductancia de 3,5 milihenrios.

3.^a Idem con una longitud de línea de 10 millas, resistencia de 0,60 ohmios e inductancia de 17,5 milihenrios.

4.^a Producción de un cortocircuito dentro de la misma estación y antes de poner en marcha el motor, soportando éste una sobrecarga de 20 veces la carga normal.

En los tres primeros casos funcionaron los interruptores extrarrápidos sin que se observara anomalía alguna; en el cuarto caso, y debido a la carga tan considerable a que estaban sometidos los generadores, saltó un arco sobre las delgas del colector, que se cortó inmediatamente y sin la menor consecuencia por las barreras *anti/flash* colocadas sobre el colector y los interruptores extrarrápidos dispuestos sobre el lado negativo de los generadores.

Los grupos actualmente en servicio en la subestación de Cobertoria han respondido perfectamente a las condiciones exigidas.

Conexiones y cuadros de continua. Servicios auxiliares

El terminal negativo de los generadores de cada grupo se conecta a un interruptor extrarrápido que luego describiremos y, después de atravesar los arrollamientos serie de los inductores de la excitatriz E_2 y de los generadores mismos, se une a la barra ómnibus negativa.

El terminal positivo se conecta directamente a la barra ómnibus positiva por intermedio de un interruptor principal I_p de tipo corriente y del seccionador I_a , ambos con maniobra mecánica desde el cua-

dro; el primero está también eléctricamente enclavado con el interruptor extrarrápido.

De la barra ómnibus positiva se derivan dos *feeders* (Norte y Sur), cada uno de ellos a través de un interruptor principal al aire, un interruptor extrarrápido del mismo tipo que el de los generadores y un seccionador; ambos *feeders* pueden también conectarse por medio de un seccionador normalmente abierto. El interruptor principal va provisto de contactos que cierran el circuito de la bocina de alarma cuando, habiendo saltado el extrarrápido, permanece cerrado aquél, y, una vez abierto, cierra el circuito de un botón, que permite cerrar de nuevo eléctricamente desde el cuadro el interruptor extrarrápido.

El cuadro de continua se compone de ocho paneles de pizarra negra: dos, para los grupos generadores actuales; otro (sin equipar), para el previsto; dos, para los *feeders*; uno, para el «relé» de inversión de corriente; uno, para el transformador auxiliar y servicios, y uno, para la batería; hay, además, un brazo giratorio para el voltímetro a 3 000 voltios y para el de excitación del motor síncrono.

Los paneles de los grupos llevan un amperímetro, dos volantes para el accionamiento de los reóstatos de campo de los dos generadores y su excitatriz, dos palancas para la maniobra de los interruptores de campo, otras dos para la maniobra a distancia de los interruptores principal I_p y al aire I_a , los contactos B_1 y B_2 para la apertura y cierre del interruptor extrarrápido, las lámparas de indicación L_v y L_r , clavijas, etc.

Los paneles de los *feeders* llevan un amperímetro; los contactos para el interruptor extrarrápido, luces de señales; las palancas de maniobra a distancia de los interruptores, fusibles, etc.

El panel del transformador auxiliar contiene un interruptor principal, cuatro interruptores para los distintos circuitos y un interruptor con *relé* de subvoltaje que conecta automáticamente la batería a las lámparas de auxilio, caso de accidente.

El panel de la batería lleva un amperímetro, un voltímetro, un interruptor de dos direcciones para conectarla al circuito de carga o al de excitación, con un contacto automático accionado por un *relé* de inversión para impedir que la batería se descargue sobre la excitatriz, un interruptor para la carga en serie o paralelo de las dos series de elementos de la batería, etc.

Sobre los *feeders*, así como el lado positivo de los generadores, se colocan pararrayos de aluminio P, que protegen los cuadros y aparatos.

A partir de las bornas secundarias de los transformadores principales, todas las conexiones entre los cuadros, grupos y aparatos se llevan bajo el piso, en tubos de fibra los cables de corriente alterna y en conductos de hierro galvanizado con barniz interior los de corriente continua, de modo que en la sala de generadores no se descubre ninguna conexión, dando a ésta un aspecto sumamente agradable. Cada subestación lleva más de 1 000 m de tuberías para conexiones.

Las subestaciones van también provistas de los circuitos y elementos auxiliares siguientes:

Un transformador monofásico 30 000/220/110 voltios de 10 kv-a conectado a una fase de las barras ómnibus a 30 000 voltios que alimenta dos circuitos, uno a 110 voltios para el alumbrado de la subestación y otro a 220 voltios para fuerza motriz.

Esta se emplea en el filtro de aceite y en un grupo compresor de aire, utilizado por medio de una distribución general para la limpieza de aparatos, especialmente de los grupos motores-generadores.

Un transformador 3 500/220 voltios, trifásico, de 25 kv-a para los motores del puente-grúa y servicios exteriores.

Un circuito para la bocina de alarma y un circuito de control a 125 voltios derivado de los terminales de la excitatriz de los generadores, que alimenta las bobinas y *relés* de los interruptores y aparatos, las lámparas de señales en los cuadros, el circuito de la bocina, etc.

Una batería de socorro (antes mencionada) que sirve para alimentar el alumbrado de la subestación cuando falta la corriente principal; esta batería se carga por la excitatriz E_1 y puede, durante un cierto tiempo, sustituir a ésta en la excitación de los equipos, caso de avería.

Un circuito de tierra alrededor de ambas salas de la subestación, formado por una cinta de cobre a la que se conectan todas las armaduras metálicas y soportes de los aparatos, cubetas de los transformadores, etc., para garantía del personal de servicio; a su vez, esta cinta se une, así como el terminal de tierra de los pararrayos, etc., a varias tierras francas cuidadosamente dispuestas y que, unidas también entre sí, forman una cintura alrededor de la subestación. De la barra ómnibus negativa parten los cables, uniéndose uno de ellos al *feeder* negativo y el otro a los carriles de la vía.

Protección de los generadores contra los cortocircuitos

En caso de cortocircuito, el incremento de la corriente principal puede sobrepasar la enorme cifra de 3 millones de amperios por segundo (aunque esta relación, dependiente de la potencia y tipo del generador, disminuya rápidamente); por tanto, la intensidad alcanzada en algunas milésimas de segundo es tal, que los polos de conmutación de los generadores se saturan y su acción resulta insuficiente para oponerse a la formación de un pequeño arco entre la delga del colector, que rebasa una escobilla, y la delga siguiente. La elevada temperatura de los gases del arco y la tensión media, también elevada, entre dos delgas consecutivas del colector, producen la continuidad de este arco durante toda la rotación del colector; se producen así una serie de pequeños arcos entre las delgas, y cuando la rotación lleva el primero de estos arcos a la proximidad de la siguiente línea de escobillas, salta el fogonazo o *flash* entre las líneas de escobillas alrededor de todo el colector. Cuando el armazón de la máquina está puesto a tierra, los vapores conductores producidos pueden hacer que el arco salte a la masa. En ambos casos, la cantidad de energía concentrada en débil espacio es considerable, y pueden resultar averías graves en el colector y escobillas, o en el armazón de la máquina, especialmente en los cojinetes, aparte del riesgo que corre el personal de la subestación.

Los efectos de los cortocircuitos son también desastrosos para los interruptores ordinarios, que no comienzan a funcionar hasta transcurrido un décimo de segundo después del principio de aquél, por lo que la corriente de cortocircuito ha tenido tiempo de alcanzar su máxima intensidad y el arco de ruptura correspondiente a la disipación de tal cantidad de

energía en tiempo tan corto es formidable, pudiéndose además originar sobretensiones peligrosas en todos los aparatos.

Con el aparato que vamos a describir se logra impedir el desarrollo de la corriente de cortocircuito, limitando su intensidad antes de que haya podido adquirir un valor peligroso para los generadores e interruptores. Este disyuntor o interruptor extrarrápido, cuyo disparo se produce solamente algunas milésimas de segundo después de iniciado el cortocircuito, no corta la corriente de cortocircuito propiamente dicha; se limita a insertar en el circuito una fuerte resistencia sin auto-inducción, conectada entre sus propias bornas. De este modo se reduce la energía disipada en el arco de ruptura del interruptor principal ordinario y aquél puede soplarse más fácilmente sin que su extinción produzca sobretensiones peligrosas para los aparatos; la citada resistencia impide que la corriente alcance una intensidad suficiente para que se produzca el fogonazo, y como, además, el interruptor ordinario que corta la corriente principal no funciona hasta que el extra-

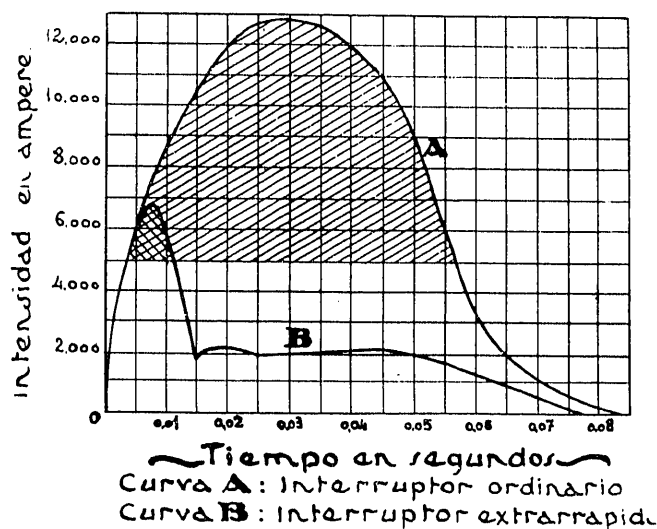


Fig. 25

rápido ha intercalado su resistencia, no tiene aquél que cortar más que una corriente de intensidad relativamente reducida, evitándose todo efecto peligroso.

En la figura 25 se aprecia la diferencia entre las curvas oscilográficas obtenidas en un grupo de 3 000 voltios 2 000 kw provisto en un caso de un interruptor ordinario y de un extrarrápido, y en el otro de uno ordinario solamente.

El interruptor extrarrápido se conecta (fig. 24) sobre el lado negativo del generador entre la barra ómnibus negativa y tierra; la resistencia de protección R está permanentemente en derivación sobre los terminales del disyuntor, de modo que, en caso de apertura de éste, se encuentra aquélla inmediatamente en serie con el circuito principal. Con esta disposición, cualquier corriente de descarga, desde el polo positivo al armazón de la máquina, tiene que pasar también por la resistencia limitadora para volver a la armadura.

Según se ha demostrado en experimentos, el interruptor extrarrápido es capaz de abrir por completo el circuito en lugar de solamente insertar la resistencia R; pero se ha considerado en la práctica más

seguro y eficaz verificar el corte de la corriente en dos escalones.

El disparo del interruptor extrarrápido provoca además sobre cada grupo el funcionamiento del interruptor principal I_p sobre el lado positivo de los generadores, a la vez que este último produce la apertura del contacto C_3 sobre el circuito de excitación independiente de los generadores.

Los dos contactos del disyuntor C_1 y C_2 están formados por dos bloques de cobre, de los cuales el C_1 , empujado por un pequeño resorte, puede oscilar ligeramente alrededor del eje P_1 , mientras que C_2 va colocado en el extremo de una larga palanca articulada en P_2 y sobre la que se fija un poderoso resorte r , que tiende a separarla del contacto C_1 . Un electroimán F_1F_2 , formado por un paquete de chapas delgadas, atrae la armadura A fija a la palanca P_2C_2 ; este electroimán se alimenta por la bobina B conectada al circuito de control de corriente continua a 125 voltios, pudiendo regularse el esfuerzo de atracción mediante el reóstato R_3 .

La corriente principal entre el polo negativo y tierra atraviesa una barra S situada entre los polos del electroimán F_1F_2 , perpendicularmente al plano de la figura y a muy poca distancia de la armadura A . La acción de la corriente que atraviesa la barra S tiende a disminuir la atracción ejercida sobre A por el electroimán F_1F_2 , y si dicha corriente alcanza una intensidad anormal, la atracción puede reducirse a un valor inferior al esfuerzo antagónico ejercido por el resorte r , que entonces separa los dos contactos. El contacto C_1 es más pesado que el C_2 y cuando se suelta la armadura A , C_1 sigue a C_2 durante un pequeño espacio predeterminado, pero a mucha menos velocidad, de modo que prácticamente C_1 y C_2 comienzan a separarse simultáneamente con el principio del movimiento de la armadura.

La bobina de soplo magnético S_1 en serie con el circuito principal produce un campo intenso alrededor de los contactos C_1 y C_2 que impulsa al arco desde éstos a los cuernos H_1 y H_2 ; siguiendo el arco su movimiento ascendente entra en contacto con las puntas de los cuernos auxiliares H_3 y H_4 , lo que inserta automáticamente en el circuito otra bobina de soplo S_2 que divide el arco en dos partes, una soplada entre los cuernos H_1 y H_3 y la otra entre los H_2 y H_4 ; el núcleo de hierro de la bobina S_2 se conecta a unas piezas de campo (representadas de trazos en la figura) que cubren toda el área de la caída auxiliar H_3H_4 .

La calibración del interruptor para la intensidad de disparo deseada se hace con toda precisión mediante el reóstato R_3 auxiliándose de una curva de calibrado; se necesitan próximamente 0,17 amperios en la bobina de campo del electroimán para mantener cerrada la armadura A cuando no pasa corriente por la barra principal S_1 , y para producir el disparo a una carga de 2 000 amperios basta ajustar a 0,7 amperios la corriente de la bobina B .

En caso de cortocircuito, la corriente alcanzará un valor varias veces superior al necesario para producir el disparo, y el flujo en la armadura F_1F_2 se reducirá a un valor muy pequeño o podrá llegar a invertirse; pero no hay peligro de que pueda ser de nuevo atraída la armadura, porque ésta empieza a moverse rápidamente en el momento en que el flujo se reduce al valor prefijado para el disparo. Gracias a la débil inercia del conjunto C_2P_2A y a la ausen-

cia de órganos de transmisión mecánica, basta una tensión de unos 360 kg en el resorte r para un interruptor de 2 500 amperios de capacidad. La inserción de la resistencia R empieza tres milésimas de segundo después de comenzado el cortocircuito y, al cabo de cuatro o cinco milésimas de segundo, el aumento de corriente es ya menos rápido, empezando aquélla a descender al cabo de seis u ocho milésimas de segundo, para llegar a un valor apenas doble de la intensidad normal al cabo de diez y seis milésimas de segundo. En la figura 26 se representan las curvas oscilográficas de un cortocircuito en un motor generador de 3 000 voltios y 2 000 kw, provisto de un interruptor extrarrápido.

Los demás elementos auxiliares del interruptor son: n , transmisiones mecánicas del disparador que accionan los contactos de los circuitos auxiliares C_a ; B_1 , botón que cierra el circuito de la bobina b_1 para ce-

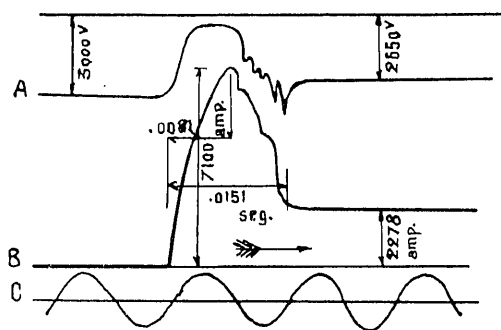


Fig. 26. Grupo motor-generador 2000 kw a 3000 v. Corto circuito en la subestación.

A. Curva de voltaje.—B. Curva de corriente.—C. Curva de tiempo, 60 periodos por segundo.

rrar desde el cuadro el interruptor (b_1 produce el accionamiento del contacto C , que a su vez cierra el circuito del solenoide b_2); B_2 , botón sobre el circuito de la bobina principal B para disparar el interruptor desde el cuadro (el dispositivo limitador de velocidad I , instalado al extremo de la excitatriz F_2 e intercalado también en el anterior circuito, produce asimismo el disparo del interruptor); I_r y I_v , lámparas de indicación roja y verde, respectivamente, encendida la primera con el interruptor extrarrápido cerrado y la segunda cuando se abre; F , fusibles; C_t y C_g , clavijas para la medición del voltaje de un generador o de todo el grupo; T , tierra; P , pararrayos.

El interruptor principal I_p se dispara por la bobina de sobrecarga b_3 y por el relé de subvoltaje R_v ; éste es accionado también por los contactos 3-0 y 1-0 del interruptor extrarrápido. El disparo de I_p produce por los contactos C_p , como ya hemos dicho, la apertura del contacto C_3 y hace sonar la bocina de alarma si el seccionador al aire I_a permanece cerrado.

Una característica de este tipo de protección es la eliminación de las perturbaciones que en el lado alterno de los convertidores síncronos causan los cortocircuitos sobre el lado de corriente continua debido a que la carga decrece tan rápidamente que la inercia de las armaduras provee la energía y la carga no aumenta prácticamente en el lado de alterna y, por consiguiente, no funcionan los relés de sobrecarga, evitando el desenganche de los motores y la pérdida de tiempo consiguiente. Después de un cortocircuito, basta cerrar el interruptor extrarrápido, luego el interruptor rápido I_p , enclavado eléctrica-

mente con éste, y, por último, el interruptor principal al aire I_a del modo corriente; si el cortocircuito persiste, el interruptor extrarrápido volverá a saltar, pero sin producir arco o deterioro alguno en el conmutador o escobillas ni sobrecarga en el interruptor rápido.

Se ha tratado también de evitar los fogonazos en el colector por medio de barreras aislantes (*flash barriers*), destinadas a impedir el acceso de los pequeños arcos nacidos bajo las escobillas a la línea de escobillas siguiente, así como la formación de vapores de hierro o cobre que pueden producir un arco a la masa.

Estas barreras están formadas con pantallas de cartón de amianto de 15 a 20 mm de espesor, colocadas unas (de forma anular) alrededor de los colectores y entre éstos y el armazón, impidiendo los arcos a la masa o conexiones radiales de las armaduras, y otras partiendo de las anteriores y que en sentido radial llegan hasta muy cerca de la superficie de los colectores. Las barreras se colocan próximas a las partes que protegen (armazón y portaescobillas), pero lo suficientemente alejadas del arco para dar lugar a que éste se expanda y que, separado de su vaina de gases calientes, se evite el peligro de una explosión.

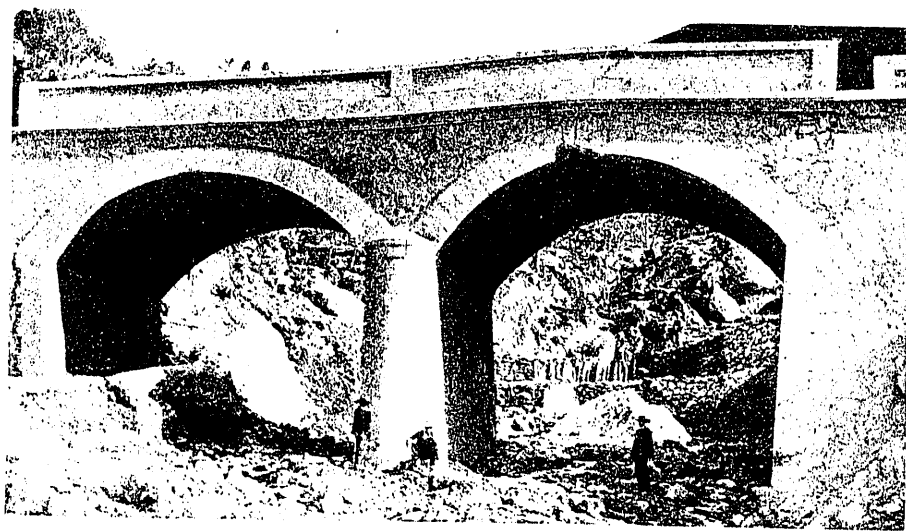
Los corrimientos de terrenos en la provincia de Granada en relación con sus obras públicas

En el pasado mes de abril, y después de cerca de sesenta días de lluvia pertinaz y no interrumpida, sonaron en la Prensa, con gritos de catástrofe, los clamores del pueblo de Monachil, que se creía amenazado por una transformación que ya destrozaba lo más rico y feraz del valle en que se asienta.

Artículos periodísticos, requerimientos a los Poderes públicos, demandas de auxilios, interpretaciones

empujando los estribos de las obras de fábrica, con vierte los arcos de medio punto en ojivales y acaba arruinando las bóvedas (fot. 1.^a).

Un puente de hormigón armado, de tramo recto, construido en sustitución de uno de dos arcos en el arroyo Salado, resiste hasta ahora el empuje desde hace siete años, pero el estribo de Lanjarón, totalmente agrietado, se resquebraja por debajo del ta-



Fot. 1.ª Puente sobre el arroyo Salado en la carretera de Tablate a Albuñol (Lanjarón), hoy sustituido por un tramo recto de hormigón armado

varias, visitas, exploraciones, temores e incertidumbres, toda la cohorte de hechos y dichos que acompañan a cualquier accidente, tuvo lucida representación en este caso, y, como nuevo, y acaso no inútil, comentario a lo hasta ahora expuesto, cuando la paralización que trae el buen tiempo ha acallado el vocerío, voy a hacer unas consideraciones sobre el fenómeno ocurrido, más que sobradamente conocido por los ingenieros que han trabajado en esta provincia y las limítrofes, pues, como castigo secular, el transformismo va causando accidentes análogos en las obras construidas en determinadas clases de terrenos.

Constantemente, las carreteras y los canales sufren las contingencias de estos accidentes: en la carretera de Tablate a Albuñol, en las inmediaciones del conocido Balneario de Lanjarón, la ladera se desliza y,

blero; en el barranco de las Viñas se están poniendo cimbras en arcos que han perdido totalmente el perfil, y muros resquebrajados y obras peraltadas acusan en toda esa zona la constante manifestación de esa forma del dinamismo geológico (fot. 2.^a).

En Loja, en la carretera de Bailén a Málaga, corrimientos importantes han arruinado muros, determinando grietas colosales en la explanación y terrenos próximos (fot. 3.^a).

En el kilómetro primero de la carretera de Montefrío a Tocón se ha producido un derrumbamiento de molasas, por corrimiento de la base, que ha cortado 150 m de carretera y arruinado la finca limítrofe. Según datos fidedignos, desde la construcción de la carretera, hace unos treinta años, estaba el terreno agrietado, pero sin movimiento; este año, en doce