

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Redactor-Presidente.... Excmo. Sr. D. Eduardo López Navarro, Inspector general del Cuerpo.
Redactores..... Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
 D. Antonio Sonier, Profesor de la Escuela de Caminos.
 D. Enrique Latre, Ingeniero de Caminos (Sección de Información).
 D. Manuel Maluquer, Ingeniero de Caminos del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores..... Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

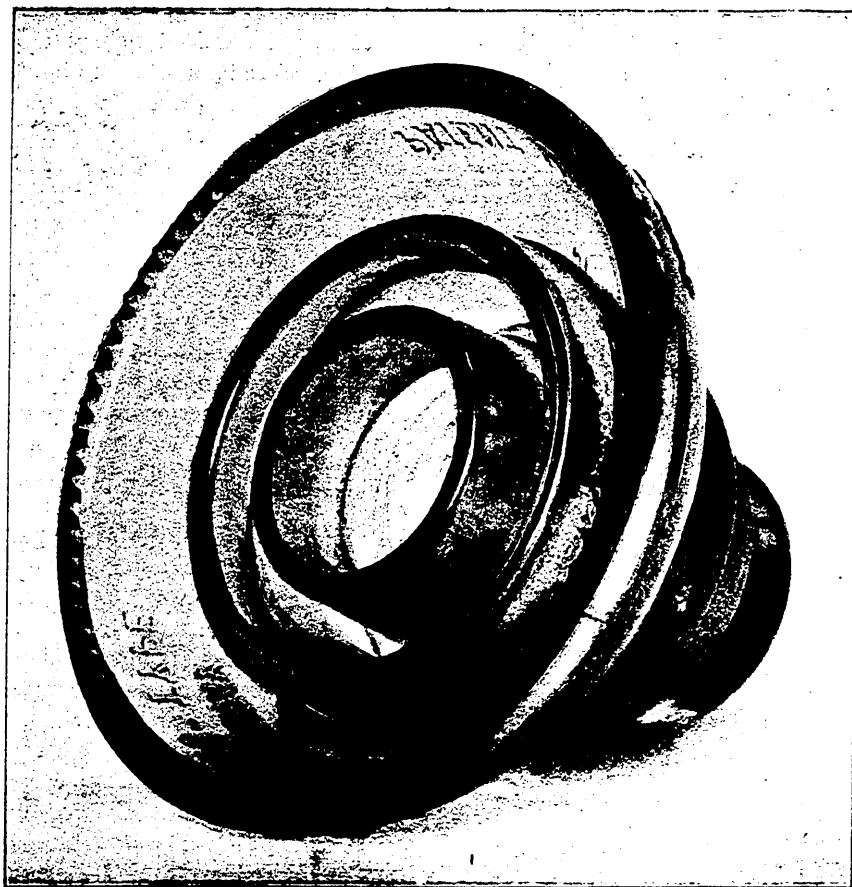
Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA EN LA CIUDAD DE MÉJICO

(CONTINUACIÓN)

El tablero del transformador lleva los dos conmutadores rápidos de cuatro polos del circuito de alimentación, para los dos

la línea de transmisión, que puede estar ya en circuito, con una ó más de las otras estaciones generatrices. Si en la estación generatriz no hay ningún generador en función, entonces los transformadores aumentadores pueden cambiarse para la línea de transmisión de tres fases de 22.000 voltios mediante el interruptor de circuito de alta tensión de que está provisto y se pueden cerrar los conmutadores de cuatro polos, poniéndose así la corriente de baja tensión de dos fases directamente sobre las barras colectoras de 440 voltios del cuadro de distribución. Las máquinas pueden así á su vez ponerse en función conveniente-



Aisladores para líneas de transmisión de alta tensión.

juegos de transformadores aumentadores de corriente principal. Estos conmutadores son de 600 amperios de capacidad cada uno. El material de este tablero comprende, además, voltímetro, sincronizador, clavija de contacto y lámparas. Estos son necesarios en conexión con los feeders á causa de las disposiciones poco usuales adoptadas en este sistema, necesitando las estaciones, consideradas como unidad, ser sincronizadas con el circuito de

mente, y en paralelo con las barras colectoras y entrar en el circuito alimentador del modo usual cuando sea preciso. Pero si los generadores estuviesen ya funcionando, entonces se hace necesario ponerlos en paralelo con el circuito de la línea de transmisión. Con este fin, los interruptores de corriente de tres fases de alta tensión están cerrados en una hilera de transformadores que obran así como reductores de la tensión, é introducen una

de dos fases de 440 voltios en los contactos exteriores del conmutador abierto de cuatro polos; la tensión de la barra colectora está ya en los contactos interiores, y, por tanto, los dos circuitos en los extremos sólo necesitan ponerse en paralelo y cerrarse el conmutador. La sincronización de los dos se obtiene del modo usual, igualándose las tensiones haciendo entrar en función el circuito de la barra colectora, estando los generales relacionados con él, regulados como unidad, mediante el reostato en el circuito de derivación excitado. Los tableros están provis-

puede leer a primera vista la carga puesta ya sobre la línea por las otras estaciones generatrices, y así, en caso necesario, escoger aquella que conviniere a la parte suya de la carga, evitándose así cobrecargas, en una u otra línea. Los amperímetros están todos alimentados desde transformadores en serie y pueden aislarse mediante los interruptores de circuito de alta tensión, que se colocan a cada lado del circuito principal. El empleado en Chiluca tiene los conmutadores regulados, de modo que puede desviar la corriente que llega de la estación de Alameda, para una u otra, o ambas líneas, o bien cortarlas por completo.

Los interruptores de corriente de alta tensión son del tipo fusible. Son de mecanismo sencillo y necesitan una interrupción muy larga, para que el circuito pueda efectivamente abrirse. Este tipo consiste en dos postes de madera dura, el más corto de los cuales es hueco y está unido con charnela al centro del otro, de modo que sus extremos superiores se hallen en línea. Los extremos superiores están provistos de manguitos de cobre que llevan cilindros huecos de carbón, que forman virtualmente los contactos del conmutador. Los dos polos de contacto con la charnela, o sea el propio conmutador, se pueden desprender fácilmente del tablero de mármol, en el cual las bornas, en la forma de quijadas a resorte de cobre, están ajustadas a distancia correspondiente a la altura, entre la charnela y el contacto superior del palo largo, el cual en este punto se halla provisto de hojas sobre las piezas de contacto que corresponden a los extremos de los conductores sobre el cuadro de distribución. El conmutador es así, completamente desprendido del tablero y de sus bornas activas, para el cambio de hilos fusibles. El fusible está formado de un hilo de aluminio de 10 pulgadas de largo que se mantiene en tensión entre los extremos de los carbones de contacto del conmutador. El conmutador se prepara quitando al tablero el palo largo con el brazo prendido, pasando el hilo del fusible a través del extremo del carbón hueco del palo más pequeño y sujetándolo al extremo de alambre mediante un tornillo y arandela; el hilo de aluminio de esta manera pasa a través del carbón hueco del contacto, correspondiente al palo largo, alzándose el extremo acharnelado contra la resistencia de muela aplanada, hasta que los extremos carbónicos estén a 10 pulgadas de separación y el hilo fijado en una grampa-leva especial. La grampa que sujeta el hilo del fusible está hecha de modo que pueda abrirse fácilmente, mediante el pedazo de cuerda que va prendida; y la disposición puede, por lo tanto, usarse o como simple conmutador o como interruptor automático de corriente. El palo largo se coloca en posición mediante la presión, en los extremos de los conductores del tablero; el extremo o borna acharnelada está conectada al extremo superior del palo corto, por medio de un conductor flexible que pasa a través del centro del palo. Los interruptores de circuito están separados entre sí por largas barreras de madera recubiertas de amianto. Los pararrayos empleados son del conocido tipo Wurts; cada uno va montado separadamente sobre un tablero de mármol, en el cual la serie de agujeros para el paso de las chispas ocupa el frente, estando fijados en la parte posterior los carretes repulsivos.

Los principales cuadros de distribución en todas las estaciones generatrices son idénticos a los de Chiluca ya descritos; sin embargo, hay en Madin medios adecuados para un cuadro de distribución adicional, por cuanto allí es donde las dos líneas de transmisión duplicadas de las demás estaciones generatrices se reúnen y se enlazan para alimentar una u otra o a ambas líneas de transmisión de alta tensión que corren directamente a la estación colectora en La Verónica. Naturalmente, se requieren para esto disposiciones sincronizantes; estas son de la forma acostumbrada e idénticas con las usadas para poner en paralelo los alternadores. En todos los circuitos hay una serie de vatímetros, de modo que el estado efectivo de la carga y su distribución entre las varias corrientes puede verse a primera vista.

En todos los casos, vatímetros de una sola fase, ya sea indicadores o integrantes, se usan de este sistema; dos instrumentos de una fase se necesitan para dar la fuerza o energía total

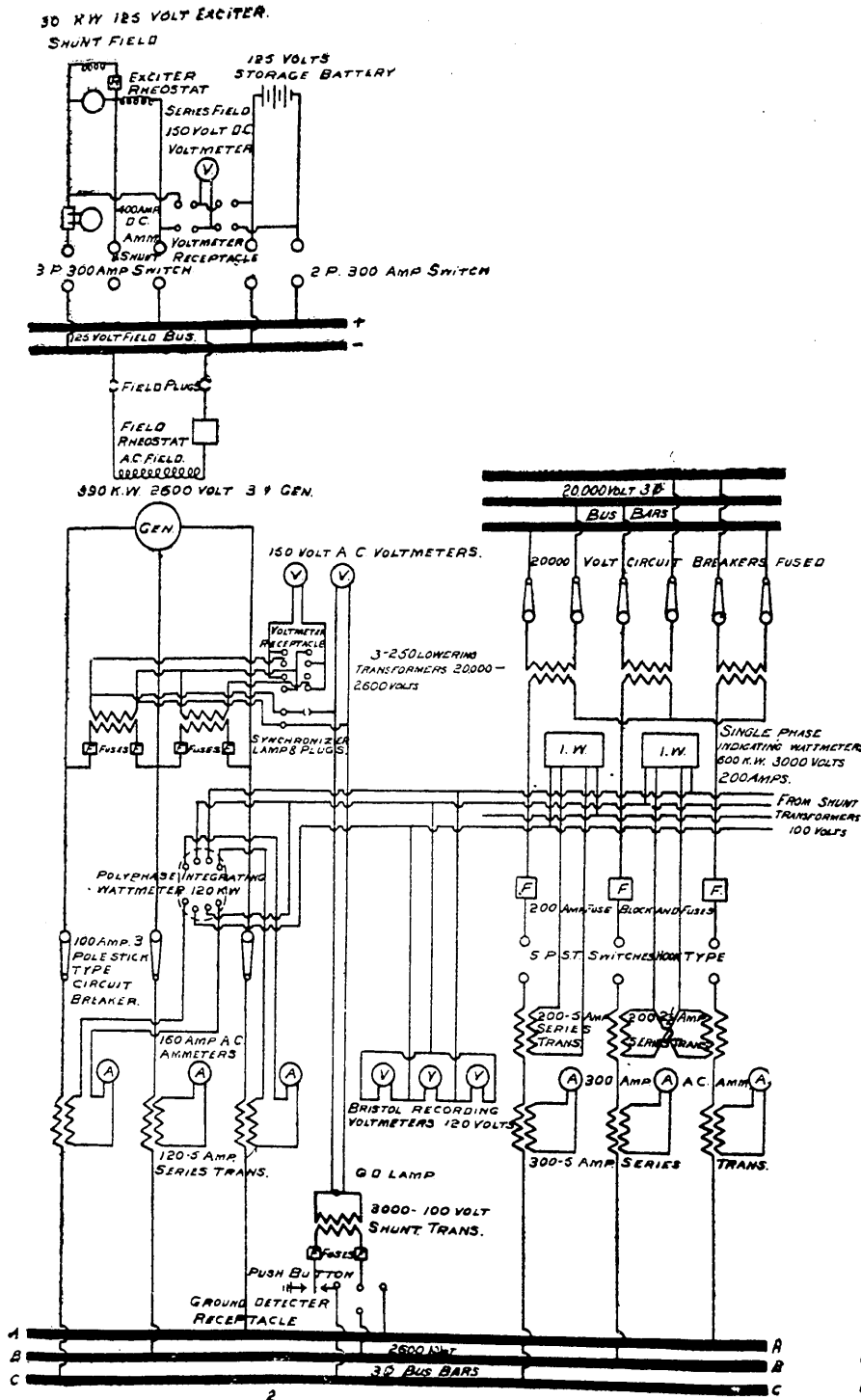


Diagrama de las uniones del generador de v. por.

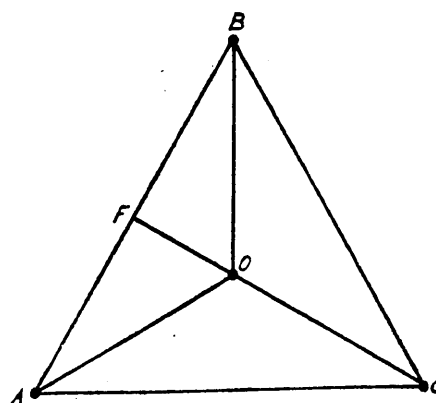
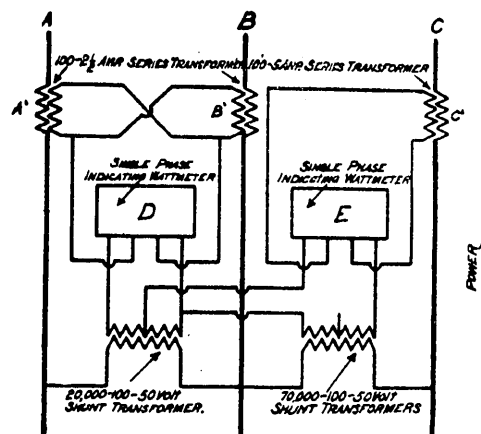
tos de las usuales lámparas avisadoras, indicadores de tierra y pararrayos. Estos últimos están relacionados con las barras colectoras de tres fases a alta tensión, es decir, entre los interruptores de circuito de alta tensión del lado del transformador y los interruptores del circuito de alta tensión de los feeders de la línea de transmisión. Como en Chiluca, las estaciones intermedias tienen cuadros de distribución adicionales, a través de los cuales pasan las líneas de transmisión. En cada conductor principal hay amperímetros, en los que el empleado de la estación

del circuito de tres fases. Los carretes de corriente de vatímetro se abastecen de los transformadores en serie ámmetro de 100 á 2 1/2 y 100 á 5 amperios, mientras que los carretes de tensión se abastecen por transformadores en derivación de 20.000 á 100-50 voltios proporcionales. Los dos vatímetros de una fase, acoplados, indican cada uno la mitad de la fuerza total del circuito cuando la carga es equilibrada en cada fase, y en el caso cuando las cargas por fase son desiguales, la suma de las dos indicaciones dará el total exacto de la fuerza.

Tómese, por ejemplo, el vatímetro de una fase *D*; su corriente se suministra de los transformadores en series *A* y *B*, cuyos secundarios se hallan acoplados en paralelo. La corriente abastecida al wattímetro *D* se halla representada, por lo tanto, por la resultante de *OA* y *OB*, y es igual á *AB*. El carrete de tensión del vatímetro *D* es abastecido directamente de los extremos del transformador en derivación á través de las corrientes principales *A* y *B*, y se halla, por lo tanto, en fase con la corriente *AB*. En el caso del vatímetro *E*, la corriente abastecida sale del transformador en serie única y *C* es proporcional y en fase con *OC*; el carrete de tensión de *E* se halla acoplado á través del transformador, en derivación entre *B* y *C*, y también mide la mitad de la corriente secundaria del primer transformador, esto es, el que se halla entre *A* y *B*. Suponiendo que la carga no sea inductiva, el circuito de tensión se hallará en fase con la corriente *OC* y se hallará representado por *CF*. Habiendo encontrado las relaciones y proporciones exactas entre las fases y valores de las corrientes en la serie y los carretes de tensión de ambos vatímetros, cualquiera puede fácilmente calcular un ejemplo práctico. Aunque las escalas graduadas del vatímetro se hallan marcadas de modo que indiquen las fuerzas efectivas de los circuitos, los carretes de tensión y de corriente se abastecen por transformadores reductores; los primeros guardan una proporción de 200 á 1, los segundos una proporción de 20 á 1, ó su equivalente en el caso de *A* y *B* que guardan cada uno la proporción de 40 á 1, pero se usan con sus secundarias, en posición paralela. Así, con 100 amperios en cada corriente principal y una tensión de 20.000 voltios por fase, la fuerza de la línea de tres fases será de $100 \times 20.000 \times \sqrt{3}$, ó 3.464 kilowatios. Tomando la fuerza efectiva abastecida á cada metro, primero al metro *D*, la corriente en serie sale de los dos transformadores *A* y *B*, cuyas corrientes secundarias se hallan acopladas en posición paralela, la corriente en cada secundaria con 100 amperios en la primaria será de 2,5 amperios; pero debido á la diferencia de fase entre las corrientes de *A* y *B*, la corriente equivalente que pasa por *D* será sólo de $2,5 \times 2,5 \times \cos 30^\circ$ ó 4,33 amperios. Por lo tanto, la fuerza efectiva recibida por *D* será igual á $4,33 \times 100$ ó 433 watios, y la fuerza indicada, teniendo en cuenta las proporciones de los transformadores reductores será de $4,33 \times 20$ por 100×200 , lo cual es igual á 1.732 kilowatios; á saber, la mitad de la fuerza total del circuito de tres fases. Lo mismo sucede con el vatímetro *E*; la corriente en serie se obtiene del transformador único *C* y será igual á 5 amperios. Por el contrario, el circuito de tensión se obtiene de dos transformadores y se halla indicado por la línea *CF*, como se ha mostrado previamente. *CB* representa 100 voltios, y por lo tanto *CF* es igual á $100 \times \cos 30^\circ$, ó 86,6 voltios, que es la tensión á través del devanado en derivación del vatímetro *E*. Entonces la fuerza efectiva recibida por *E* será igual á $5 \times 86,6$, ó 433 watios, exactamente la misma que la recibida por *D*, y la indicación del metro *E*, teniendo en cuenta los transformadores reductores, será igual á $(5 \times 20) \times (86,6 \times 200)$, 1.735 kilowatios, ó sea la mitad de la fuerza total del circuito de tres fases.

La transmisión eléctrica entre las varias estaciones generatrices y entre la estación colectora de Madín y La Verónica, es en toda su extensión aérea de conductores de cobre descubierto. Entre Madín y las estaciones generatrices, á lo largo del río Monte Alto y el río Italnepantla, las cuatro líneas de tres fases se hallan sostenidas por postes metálicos, cada uno de los cuales mide 29 pies de altura, y están contruídos en tres secciones de 5", 4" y 3" pulgadas de diámetro respectivamente. Los postes

se hallan colocados á intervalos de 130 pies, y están fijos directamente en el suelo, excepción hecha de los lugares húmedos, en cuyo caso se hallan fijos en un bloque de cemento hidráulico de unos 2 pies de diámetro y 6 1/2 pies de profundidad. Cada línea de postes lleva los seis conductores de las dos líneas de transmisión. Los aisladores son del tipo triple, sostenidos por dos travesaños de madera. Todos los aisladores fueron probados á una



SAN ILDEFONSO TRANSMISSION SYSTEM
CONNECTIONS OF 2 SINGLE PHASE WATTMETERS ON A THREE PHASE CIRCUIT

Red de transmisión de San Ildefonso. Uniones de dos vatímetros de una fase en una corriente trifase.

presión de 40.000 voltios antes de colocarlos, y se hallan sostenidos por clavijas de madera de eucalipto preparado con petróleo. La primera intención fué hacer funcionar las principales líneas de transmisión entre Madín y Méjico de la misma manera, colocando los dos circuitos en la única línea de postes, pero debido á la molestia experimentada por la maligna destrucción de los aisladores poco después de la instalación de la línea, se decidió separar los circuitos y llevarlos separados por diferentes rutas, y á este fin se levantaron nuevos postes de madera. Estos son de pino de Texas, de sección rectangular, siendo el sistema de aislamiento semejante al de las líneas originales.

La nueva línea entre Madín y Méjico tiene una extensión de 10 millas, siendo la longitud de la antigua de 8 3/4 millas. Debido á esta diferencia tuvo que usarse un conductor de una sección transversal mayor para la nueva y más extensa línea, por cuanto la acción de los interruptores del circuito de corriente contraria en la estación colectora depende en alto grado para su acción efectiva de la resistencia equilibrada de las dos líneas.

El uso de postes de madera para la nueva línea de transmisión entre Madín y Méjico, se adoptó con el objeto de evitar escapes excesivos en caso de destrucción de un aislador produciendo la caída del hilo sobre el travesaño. Se ha experimentado que cuando esto sucede en la nueva línea, en tiempo seco, el escape es muy ligero y no interrumpe el circuito.

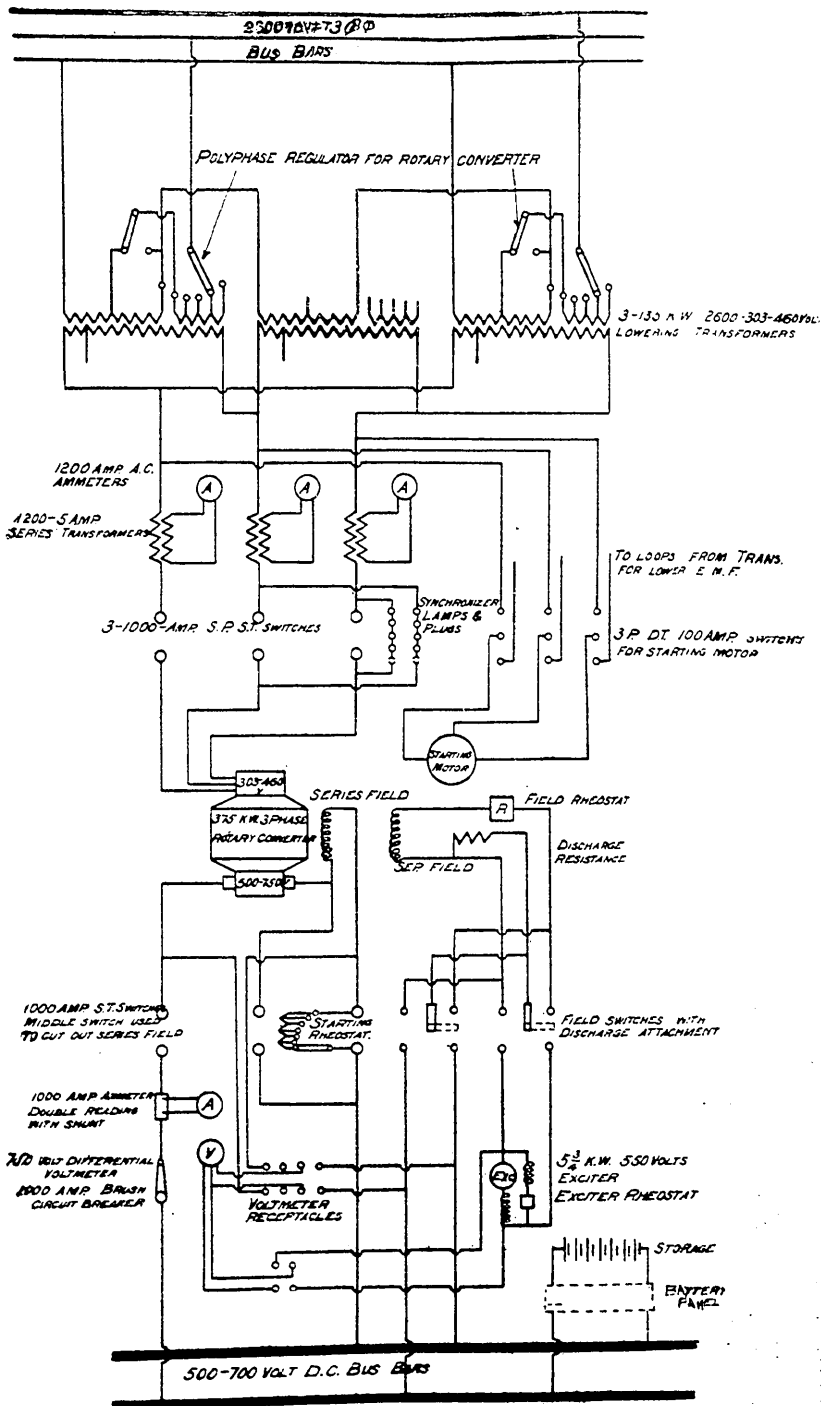
Las líneas de transmisión entran en la estación colectora de

La Verónica por un par de interruptores de circuito de tres polos de 20.000 voltios, 150 amperios, montados con accesorios de límite de tiempo, y también con un aparato por medio del cual al hacerse una reversión de corriente, se abre el correspondiente interruptor de circuito. Cada interruptor de circuito consiste en tres interruptores de polo único, montados sobre un tablero de mármol con una barrera grande de mármol entre cada interruptor, á fin de que el arco no pase de un polo á otro. Los inte-

sirve para retardar la acción de los interruptores de circuito, de modo que una excesiva carga ó una reversión de corriente no es seguida necesariamente por la abertura instantánea de los interruptores de circuito. Puede ajustarse dicha disposición definitivamente para dar un alcance de uno á diez segundos desde el momento en que ocurre alguna interrupción en la línea á la sección del interruptor de circuito. En el caso de cesar la interrupción ó defecto antes que la disposición de límite de tiempo permita á los interruptores de circuito ponerse en acción, el relai se arregla automáticamente.

El relai de la corriente contraria consiste en un wáttmetro polifásico. En lugar del *counting train* acostumbrado, hay un contacto en circuito con el *tripping coil* del interruptor de circuito. Cuando el flujo de corriente en los conductores es en la dirección normal, el contacto que domina ó dirige el *tripping coil* se tiene abierto. Si la dirección del flujo de corriente es en sentido contrario, el vatímetro, obrando como relai, se vuelve y el contacto queda cerrado. Este contacto completa un circuito local hacia el *tripping coil* que hace funcionar los interruptores de circuito. Un aparato de esta naturaleza es necesario á fin de evitar la interrupción del sistema debida al alimento de retorno de la corriente á un corto circuito en una línea, obrando dicha línea paralelamente. Se notará, sin embargo, que si la sobrecarga ó corriente de retorno en las líneas es muy excesiva, resultará un descenso sensible en la tensión de la línea, y en algunos casos dicho descenso puede ser bastante grande para impedir la acción del relai de la corriente de retorno. A fin de asegurar siempre la fuerza entera disponible para poner el relai en función, se interponen transformadores en derivación especiales y en serie entre los vatímetros y las líneas principales. Los transformadores especiales en derivación se hallan acoplados entre los transformadores en derivación normales de 20.000/100 y el lado de tensión del relai. Están ideados de modo que un descenso en su tensión primaria no va seguido de un descenso en su efectiva tensión secundaria, la cual permanece, dentro de ciertos amplios límites, constante en la práctica. Los carretes de corrientes de relai se abastecen de los transformadores especiales de serie de tres carretes, cada uno de los cuales tiene dos devanados primarios y uno secundario. Cada uno de los carretes primarios se halla acoplado en serie con los conductores principales correspondientes de las dos líneas de transmisión, interviniendo transformadores de serie ordinarios de 100/5 amperios. En cada transformador especial el circuito secundario, que se halla acoplado directamente al relai, se encuentra de tal modo regulado que cuando las corrientes en los primarios se hallan en fase no se genera corriente en el secundario. Ninguna corriente pasa, por lo tanto, por el relai hasta que el retorno efectivo de la corriente la línea de transmisión ha tenido lugar, y, por consiguiente, puede sacarse provecho usando una corriente pesada, por el corto período en que el relai se ponga en uso efectivo. Debe mencionarse que se ha dedicado atención al hecho de que la acción del relai depende de los vatios exactos que se le abastecen, y que por este motivo la diferencia de fase entre la corriente y la tensión en estas líneas prolongadas de inducción se ha corregido en el transformador en derivación especial que se prepara de modo que dé suministro secundario con una fase aumentadora respecto á su primario. El transformador en derivación adelanta la fase de su tensión secundaria hasta un grado proporcional á la tensión lenta causada en los conductores principales por una sobrecarga excesiva. El relai de la corriente de retorno se conserva de este modo cierto y positivo en su acción, abasteciéndose siempre con una corriente pesada de la clase adecuada cuando se le hace funcionar.

(Continuad.)



SAN ILDEFONSO TRANSMISSION SYSTEM
CONNECTIONS OF TRANSFORMERS REGULATORS & ROTARY CONVERTERS

Red de transmisión de San Ildefonso. Uniones de los transformadores reguladores y transformadores rotatorios.

ruptores de circuito se enlazan mecánicamente, de modo que una manivela sirve para cerrar los tres interruptores al mismo tiempo. No se ha provisto ningún arreglo mecánico para abrir los interruptores, usándose de los arreglos automáticos (*tripping arrangements*) para este objeto, por medio de un botón de empuje. La disposición de límite de tiempo se halla montada sobre un pequeño tablero debajo de los interruptores de circuito y