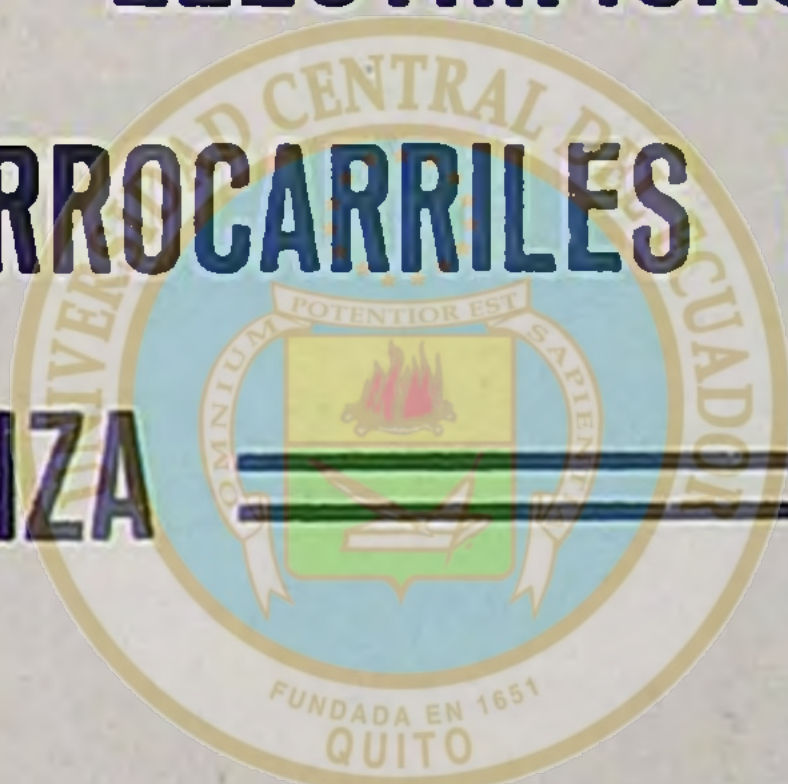


X Por el Ingeniero señor Max Forter——

Profesor de Electrotecnia de la Universidad  
Central, con la colaboración del Sr. Alfonso  
Mendizábal, ayudante de Cátedra. ——

X LA ELECTRIFICACION DE LOS  
FERROCARRILES FEDERALES DE  
SUIZA



ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL



## A. EL DESARROLLO HISTORICO DE LOS FERROCARRILES ELECTRICOS EN GENERAL

Los primeros ensayos para la utilización de la corriente eléctrica en el transporte de pasajeros fueron efectuados ya hace un centenar de años.

En el año de 1835, con ocasión de la Exposición en Springfield, Massachusetts, el constructor Thomas Davenport, había hecho demostraciones con una Locomotora eléctrica, y en el año de 1839, el escocés Robert Davidson, construyó una Locomotora eléctrica, que la puso al servicio sobre la línea férrea Edimburgh - Glasgow; como fuente de energía utilizaba pilas galvánicas, colocadas en la locomotora misma; el motor de accionamiento consistía en un motor electromagnético, pues la locomotora llevaba consigo la fuente de energía, como una locomotora a vapor lleva consigo el combustible, este dispositivo permitía mover la locomotora, con un peso propio de 5 toneladas, a través de una vía férrea horizontal, con una velocidad de m. o. m. 6,5 km/hora.; desarrollando el motor una potencia de m. o. m. 0,5 HP.

En esa época, los ferrocarriles a vapor tenían en Gran Bretaña e Irlanda una extensión de 1.300 km. de vía férrea, en Europa, de 2.900 km., y en América del Norte, una extensión de 4.700 km. de vía férrea.

En vista de que la capacidad de esta locomotora era muy pequeña, y debido al hecho de que requería un gran gasto (consumo de zinc) los ensayos descritos nunca pudieron llevar a un éxito verdadero, y la locomotora de Robert Davidson no ha podido ser considerada como la solución en el problema de la tracción eléctrica propiamente dicha.

Solamente el invento del dinamo por Werner Siemens en el año de 1879, hizo posible vencer los inconvenientes



mencionados, porque al contrario del primitivo sistema de pilas, las cuales desarrollan sólo una corriente débil, el dinamo representa una fuente potente de energía eléctrica, y, esta máquina alimentada por corriente, se convierte en un motor eléctrico que es capaz de desarrollar una potencia grande en comparación con el modesto motor de la locomotora Davidson.

En el mismo año de 1879, Werner Siemens, construyó para la Exposición de las Industrias, en Berlín, una locomotora provista de un motor de 3 HP. que arrastraba a través del área de la exposición, tres vagones pequeños, en los que se embarcaban muy complacidos los concurrentes a la exposición.

La diferencia primordial que existía entre esta locomotora y la de Davidson consistía en el hecho de que ésta no llevaba consigo la fuente de energía, sino que se encontraba estacionaria, pues era un dinamo, y la corriente era conducida desde el dinamo a la locomotora por los rieles; el dinamo, el motor, la resistencia de arranque y la regulación fueron conectados en serie.

Después de este ferrocarril, se construyó, según este mismo principio, un ferrocarril eléctrico para la Exposición Mundial de París, con la única modificación de que los conductores para la ida y para el regreso de la corriente continua, estaban montados a una cierta altura sobre el suelo; dichos conductores, llamados «Conductores de Contacto» consistían en tubos de metal, en cuyo espacio interior corrían los contactos de «Toma Corrientes».

Otro ferrocarril eléctrico, fué construído en las cercanías de Berlín; para este ferrocarril, la corriente fué llevada también por los rieles, formando cada riel un polo. Esta disposición tenía el grave inconveniente de que entre los dos rieles existía la plena tensión de servicio; como caso curioso anotamos lo siguiente: La juventud berlinesa se divertía echando sobre los rieles trozos de alambre y admirando la luminosidad del fuego proveniente del cortocircuito que ellos formaban al unir los dos polos. Ocurría además, que cuando los caballos atravesaban la línea férrea, se electrizaban; un colega del que firma, y que asistió al montaje y servicio de dicho ferrocarril, manifestaba, que los cocheros, cuyos caballos habían sufrido ya los efectos de la electrización, tenían la costumbre de vendar los ojos a sus caballos, antes de



cruzar la línea del ferrocarril, y, que a menudo la empresa ha tenido que pagar indemnizaciones a los dueños de los caballos que habían sido inutilizados por la electrificación.

Estas experiencias, habían demostrado con toda claridad que la corriente debería ser llevada por conductores de contacto subterráneos y no por los rieles, (es decir, que solamente la corriente de regreso podía ser conducida por los rieles, pero no los dos potenciales).

Estos ferrocarriles significan el principio del enorme desarrollo que ha tomado la electrificación de los ferrocarriles y tranvías.

Un ejemplo clásico de tranvía eléctrico es el de Richmond, Va., que utilizó una tensión a corriente continua de 500 voltios, en el que la corriente de ida fué llevada por un conductor de contacto tendido encima de la vía férrea, y para la corriente de regreso, fueron utilizados como conductores los rieles. Tanto la magnitud de la tensión, como también el sistema de llevar la corriente, ha sido mantenida hasta hoy día para los tranvías eléctricos.

El problema de la electrificación de tranvías, había sido resuelto, pero no todavía el problema de la electrificación de los ferrocarriles propiamente dicho, es decir, el de la propulsión de trenes por medio de la electricidad, tanto los trenes de pasajeros como los de carga.

Ya en el año de 1895, en la línea férrea Baltimore-Ohio, hacía servicio llevando trenes a través de un túnel de 6 kilómetros una locomotora eléctrica a cuatro ejes, este túnel se encuentra bajo una parte de la ciudad de Baltimore. Este es el primer caso en que los trenes, que normalmente fueron movidos por locomotoras a vapor, son movidos por locomotora eléctrica.

Lo expuesto nos hace comprender con claridad la diferencia que existe entre «Tranvías Eléctricos» y «Ferrocarriles Eléctricos». En adelante, no vamos a ocuparnos de los tranvías eléctricos, sino únicamente de los ferrocarriles eléctricos.



## B. LOS PRIMEROS FERROCARRILES ELECTRICOS EN SUIZA, Y LOS TRABAJOS PREPARATIVOS PARA LA ELECTRIFICACION TOTAL DE LOS FERROCARRILES FEDERALES

Hasta ahora hemos hablado solamente de tranvías y locomotoras que eran alimentadas por corriente continúa. Un sistema absolutamente nuevo se aplicó en Suiza en el año de 1899 para el ferrocarril Burgdorf-Thun, y pocos años después, para el ferrocarril que atraviesa el gran Túnel de Simplon.

Estos eran los primeros servicios eléctricos de ferrocarriles que significaban una verdadera promesa en la ventajosa substitución del servicio ferroviario que hasta entonces había sido realizado con locomotoras a vapor, por un servicio con locomotoras eléctricas, siendo esta substitución ventajosa tanto en el aspecto técnico como en el aspecto económico.

Para las locomotoras indicadas, se usó corriente trifásica, pues que, éstas se encontraban equipadas de motores trifásicos, la energía trifásica era llevada a la locomotora mediante el sistema siguiente: dos de los conductores iban colocados encima de la vía férrea, y el tercer conductor de sistema trifásico lo constituían los rieles mismos.

El empleo de energía trifásica, tiene la enorme ventaja de que es posible aplicar tensiones altas y corrientes relativamente débiles, resultado de lo cual las pérdidas de Joule son sumamente reducidas. Merced al empleo de esta característica de energía, fué posible instalar las plantas eléctricas suministradoras muy apartadas de los ferrocarriles. Esta ventaja se hace más notable en Suiza sobre todo, en donde, las fuentes de energía, los saltos de agua, los grandes lagos de acumulación se encuentran en los desiertos de las montañas.

En vista de que la aplicación de energía eléctrica alterna de una cierta tensión permite convertirla, por medio de transformadores, en energía de cualquiera otra tensión, es posible escoger una tensión muy alta y una corriente débil para el transporte de la energía desde la planta suministradora hasta la locomotora.

Se trata entonces, de tres distintas transformaciones, a saber: La conversión de la tensión de los alternadores en la planta a una tensión alta de 50.000, 80.000 o más voltios,



para alimentar las líneas grandes de transporte que terminan en las subestaciones; en éstas, la tensión de transporte es bajada a una tensión de 3.000 o 6.000 o 15.000 voltios, que es llevada a los conductores de contacto que son colocados a lo largo de las vías férreas; la tercera conversión se efectúa en la locomotora misma, en la que, la tensión de los conductores de contacto es otra vez bajada a una tensión adecuada para alimentar directamente los motores de accionamiento, esta tensión es generalmente de 400 V. o 600 V. u 800 voltios en el máximo.

Como se ve, las líneas de transporte a larga distancia, llevan corrientes relativamente débiles, las cuales ocasionan pérdidas de Joule moderadas, y también en los conductores de contacto, debido a la tensión relativamente alta, circulan corrientes también moderadas. Un ejemplo ilustrará al respecto; sea el siguiente: Admitamos que el motor de accionamiento en la locomotora trabaje con una tensión de 600 voltios y absorba una corriente de 1.000 amperios; que el conductor de contacto lleve 15.000 voltios y la línea de transporte 60.000 V.; entonces, en el conductor de contacto circulan:

$$1000 \frac{600}{15.000} = 40 \text{ amperios, y en la línea de transporte:}$$

$$40 \frac{15.000}{60.000} = 10 \text{ amperios.}$$

Estos 10 amperios causan en la línea de transporte trifásica de una longitud sencilla de 100 kilómetros y de una sección de 50 mm<sup>2</sup>, nada más que una pérdida de 10 kilowatios, o sea 1,7% de la potencia que entra en el motor de la locomotora.

El que firma, tuvo la oportunidad, como ingeniero en los talleres de la Casa Brown, Boveri & Cía., Baden, Suiza, de asistir a los ensayos a que se sometía a las locomotoras trifásicas del ferrocarril del Simplón.

Los motores asíncrónicos instalados en estas locomotoras, para poder ser regulada su velocidad, tenían instaladas resistencias en sus rotores, esta regulación era acompañada de una gran pérdida de energía, porque la energía de deslizamiento (la energía entrante en el motor multiplicada por la cifra de deslizamiento) es pérdida, es decir, esta energía se convierte en calor en la resistencia de regulación. Admi-



tiendo, por ejemplo, que un motor que absorbe 600 kw. trabaja solamente con un 60% de la velocidad sincrónica, entonces, el 40% restante, representa el 40% de la energía entrante, o sea:  $600 \times 0,4 = 240 \text{ Kw.}$  son los que se convierten en calor en la resistencia de regulación, y por consiguiente, son totalmente pérdidas. Reduciendo aún más la velocidad, (intercalando más resistencias) las pérdidas aumentan proporcionalmente.

El inconveniente que acabamos de anotar iba acompañado de otro grave inconveniente, y es que era difícil construir resistencias de regulación que sean capaces de absorber tan grandes cantidades de energía. Se probó de construir resistencias líquidas, pero este último sistema producía una cantidad de vapor tan grande, que entre los electrodos se han formado cortocircuitos, además, la locomotora iba envuelta en una nube de vapor, de modo que se podía creer que se trataba de una locomotora a vapor. Este inconveniente se ha hecho más notorio, cuando las locomotoras en cuestión han tenido que atravesar el túnel de Simplón, uno de los túneles más largos del mundo.

Estos fracasos han hecho pensar en la modificación del motor asíncronico. Después de varios ensayos se optó por suprimir el sistema de rotor con arrollamientos y resistencia de regulación en el circuito del rotor, substituyéndolo por un rotor a cortocircuito, y, a fin de, sin embargo del rotor a cortocircuito, poder regular la velocidad, el embobinado del estator fué provisto de un embobinado especial, que permitía ser conectado en estrella o en triángulo, y además conectar éste, en dos grupos en paralelo, o sencillamente. De este modo se conseguía proveer al motor de cuatro distintos números de polos, y por consiguiente de cuatro distintas velocidades.

A fin de producir un momento de arranque correcto, se había dado a las barras que formaban la jaula del rotor a cortocircuito una resistencia relativamente grande. Fué necesario proceder a varios ensayos para alcanzar que el rotor resistiera a las corrientes sumamente potentes que circulaban, especialmente en el período de arranque, en las barras de la jaula del rotor, pues, ocurrió a menudo, que en el lugar de la soldadura de las barras, éstas se fundían en la plena marcha; aún realizando las soldaduras con plata, no se conseguía subsanar completamente este inconveniente.



Además, el hecho de que la locomotora disponía nada más que de cuatro velocidades, significaba también una desventaja, porque el pasar de una a otra de las distintas velocidades, era acompañado de choques considerables de corriente y como consecuencia, se producían sacudidas fuertes en la marcha del tren, de manera que, encontrándose en el interior de los vagones, se podía creer que se trataba de un ferrocarril primitivo.

En un párrafo anterior hemos visto que este sistema requería de tres conductores, y que dos de ellos eran tendidos sobre la línea férrea, llamados conductores de contacto, y que el otro conductor estaba representado por los rieles, pues bien, el hecho de llevar dos conductores de contacto, significaba una deficiencia con respecto a los tranvías eléctricos a corriente continua, puesto que éstos, necesitan nada más que un solo conductor de contacto.

Se ve que los resultados obtenidos con las locomotoras trifásicas no eran satisfactorios; entonces, las miradas de los ingenieros especialistas en los ferrocarriles eléctricos, fueron dirigidas hacia el sistema a corriente alterna monofásica, pues este sistema no requiere el empleo de tres conductores, sino solamente dos, como la corriente continua.

El que firma, en colaboración con los demás ingenieros de la Casa Brown Boveri & Cía., habíamos probado entonces, si el motor a corriente alterna monofásica, llamado «Motor Deri» podía ser aplicado con éxito en la tracción eléctrica.

El «Motor Deri» es un motor a repulsión y a colector, provisto de dos pares de escobillas, siendo el un par fijo y el otro móvil; cuando las escobillas fijas y las móviles se encuentran unidas, (una fija al lado de una móvil) el motor no desarrolla un momento giratorio, es decir, el rotor no se mueve; pero a medida que se separan las escobillas móviles de las escobillas fijas, se inicia el momento giratorio, crece éste y por consiguiente, también la velocidad que desarrolla el motor. De esto se deduce que, la regulación de la velocidad que permite este motor se efectúa en una forma absolutamente uniforme, sin producir choques de corriente y por consiguiente ninguna sacudida; la regulación puede ser calificada como ideal.

Con grandes esperanzas, este motor fué instalado en los coches-tranvía que circulaban en la vía férrea en el cantón de Argovia, Suiza, funcionando a satisfacción. Estimulados



por este éxito, se dispuso fuera provista una locomotora grande con motores de la clase mencionada, pero, en la locomotora no dió buenos resultados; pues, el motor no era capaz de desarrollar el momento de arranque grande que era preciso para poner en marcha el pesado tren que estaba acoplado a la locomotora; el motor absorbía una corriente muy potente, pero colocando un watímetro entre el trolley y el motor, se pudo constatar que los watios absorbidos eran moderados, sin embargo de que la corriente era demasiado grande; en otros términos, la componente watada de la corriente, y por consiguiente el momento giratorio eran reducidos, la corriente absorbida por el motor, consistía en gran parte de corriente dewatada, es decir, de corriente ciega. Estos ensayos demostraron que el motor monofásico de repulsión y con escobillas movibles no es adecuado cuando se necesita desarrollar momentos giratorios y potencias grandes, es decir, que este motor no estaba predestinado para accionar locomotoras que arrastran trenes grandes, ni normales.

Hubo pues, que echar bajo tierra las esperanzas que en un principio se había abrigado con respecto al uso de este motor para la electrificación de los ferrocarriles.

Pero el ingeniero no es el hombre que se deja desalentar por los resultados nugatorios obtenidos en sus experiencias, sino que por el contrario, le sirven los fracasos como un estimulante para seguir adelante en sus investigaciones; además, los ingenieros especializados en el ramo de la tracción eléctrica fueron estimulados para seguir en su trabajo en la forma que sigue: Los ensayos llevados a cabo, habían llamado la atención de toda la población de la Suiza. Por otra parte, todo el pueblo sabía que Suiza dispone de múltiples aprovechamientos de agua en sus montañas que todavía no estaban utilizados, en cambio, el país no disponía de yacimientos de carbón ni de petróleo, pues el carbón necesario para mover las locomotoras a vapor tenía que ser comprado en el exterior (Bélgica, Francia, Silesia, Westfalia).

En vista de que Suiza, es esencialmente hidráulica, la población reconocía que la electrificación de los ferrocarriles significaba un gran abaratamiento en los fletes ferroviarios, a esta circunstancia, se agregaba el hecho de que el servicio eléctrico traía consigo muchas ventajas de índole técnica, tales como la eliminación de las molestias ocasionadas por el humo de las locomotoras de vapor, molestia que era tanto



más notable, si se considera que las vías férreas atraviesan muchos túneles; otra de las ventajas es el hecho de que con las locomotoras eléctricas se alcanza mayores velocidades que con las locomotoras a vapor, sobre todo en las pendientes. Utilizando la energía hidráulica que se encontraba desaprovechada en las montañas, Suiza, se hacía absolutamente independiente de los estados exteriores. Estas fueron las razones principales y decisivas para que el pueblo tomara tanto entusiasmo y deseo de que sus ferrocarriles sean electrificados, y por entonces, en toda la Suiza se ha podido oír la frase: «Sustituyamos la hulla negra por la hulla blanca» (por hulla blanca se entiende las aguas de las montañas, que justamente merecen este nombre, por cuanto los ríos que nacen a los bordes de los glaciares, debido al aire que contienen sus aguas, éstas son sumamente blancas, dan el aspecto de la leche).

Correspondiendo a este deseo unánime de la población, se formó una «Comisión especial de Estudio», cuya tarea fué la de estudiar e investigar las mejores posibilidades para la realización de gran estilo de la electrificación de los ferrocarriles de la Suiza.

Esta comisión, que había visitado varios países del mundo, que paralelamente con Suiza habían también realizado ensayos con locomotoras eléctricas (sobre todo en Estados Unidos de Norte América esta comisión había encontrado mucho material al respecto) estudiaba cuestiones no solamente de carácter técnico, sino también cuestiones de índole económica, entregó en el año de 1912, al Gobierno, el informe respectivo, cuyo contenido era el siguiente:

«La electrificación de los ferrocarriles es posible y va a dar un resultado satisfactorio, tanto bajo el punto de vista técnico como bajo el punto de vista económico. El sistema de servicio aconsejable es de corriente alterna monofásica, a una frecuencia de m. o m. 15 ciclos por segundo y de una tensión en los conductores de contacto de m. o m. 15.000 voltios. La energía necesaria debe ser producida en plantas hidroeléctricas».

Además, el informe decía: «Los cálculos e investigaciones hechos sobre la base de servicio del ferrocarril San Gothardo, demuestran que el servicio de este ferrocarril, una vez electrificado, según las proposiciones arriba indicadas, a pesar de que para este servicio se han admitido velocidades bastante



mayores que las del servicio actual a vapor, los costos del servicio eléctrico serían mucho menores que los costos para el servicio de vapor. A estas ventajas, se debe añadir las de que, con el ferrocarril electrificado se eliminan las molestias producidas por el humo, y además, la electrificación permite un mejor aprovechamiento de las instalaciones del ferrocarril».

En los años de 1911-1913, fué electrificado el ferrocarril de «Lötschberg» que conduce de Thung a Brig, y poco tiempo después se inicia la electrificación del ferrocarril «Rhätische-Bahn» que conduce al Engadín. Ambos ferrocarriles habían escogido el sistema de corriente alterna monofásica a  $16 \frac{2}{3}$  ciclos, conforme ha sido aconsejado por la citada «Comisión de Estudios».

La parte eléctrica de las locomotoras del ferrocarril de «Lötschberg» fué fabricada en los talleres de la «Maschinen fabrik Oerlikon» cerca de Zurich, los motores eran monofásicos a colector y de serie (el arrollamiento de excitación, el arrollamiento de compensación, que tiene el deber de paralizar el campo magnético perjudicial del motor, y el rotor mismo están conectados en serie).

Varios otros ferrocarriles fueron electrificados después, pero, con ocasión de la guerra mundial, el progreso de la electrificación sufrió un retardo grande, pues, en el tiempo comprendido entre los años de 1914 hasta 1918, fueron electrificados solamente a razón de 2,5 km. de vía férrea por año.

Todos los ferrocarriles que han sido mencionados hasta ahora, fueron pertenecientes a sociedades particulares, pero no al Estado; en el año de 1918, se operó un cambio decisivo en la electrificación, tanto en lo concerniente a la organización como en lo tocante a la rapidez de la ejecución, porque ocurrió que debido a la guerra mundial, el precio del carbón había aumentado en forma extrema, obstáculos que provenían de la dificultad de transportar este artículo a través de los países hostiles.

A partir de este momento, la electrificación de los ferrocarriles tomó el carácter de necesidad nacional. Era absolutamente necesario hacer a la Suiza un país completamente independiente de los demás países extranjeros. Otro deber nacional, era el de proporcionar trabajo a todos los industriales de la Nación, porque habían sufrido enormemente las consecuencias de la guerra mundial, una de las formas de



solucionar este problema, era el de la electrificación de los ferrocarriles.

El primero de junio de mil novecientos diez y ocho, el Gobierno Suizo elaboró un programa de electrificación moderna para la totalidad de la red de los ferrocarriles federales, este programa fué aceptado en el mes de octubre del mismo año, el pueblo puso a la disposición del Gobierno todos los aportes financieros que fueron necesarios para llevar a cabo tan magna obra.

El citado proyecto, comprendía la realización de la gran obra en tres etapas que hacían una totalidad de 10 años.

Cabe anotarse, que esta resolución, es la única que se registra en la historia de los ferrocarriles, porque la Suiza es el primer país que ha electrificado totalmente su red ferroviaria, de acuerdo con el deseo unánime de toda la población de la República, y siguiendo un plan absolutamente uniforme y terminante.

Pues, mientras hasta 1918, habían sido electrificados nada más que los ferrocarriles pertenecientes a sociedades particulares, a partir de este año empezó el gran trabajo de la total electrificación de los ferrocarriles del Estado, para lo cual, el presupuesto preveía la cantidad de SETECIENTOS SESENTA MILLONES DE FRANCO SUIZOS.

Como dato técnico se indica que: se adoptó corriente alterna monofásica, con una tensión para el conductor de contacto de 15.000 voltios, y a una frecuencia de  $16\frac{2}{3}$  de ciclos por segundo, esta frecuencia se debe a que se utilizaron motores de serie y a colector, y que dichos motores, no permiten una frecuencia mayor, sino bajo el riesgo de provocar serias dificultades en la conmutación.

En el año de 1929, se terminó la realización de este vasto plan; las cifras que a continuación se indica, demuestran el progreso de los trabajos de electrificación durante los diez años que siguieron a la resolución tomada por la Población Suiza.

AÑO	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928
Km. electrificación	1	32	122	141	306	376	535	820	925	1413	1589



### C. EL PROYECTO

En párrafos anteriores habíamos visto que se resolvió que la energía necesaria para la alimentación de los ferrocarriles, fuera Hidroeléctrica.

Pero había que estudiar si la energía debería ser suministrada por plantas pertenecientes a sociedades particulares o plantas pertenecientes al Estado; los estudios dieron por resultado que lo más adecuado era que el Estado se encargara de tal suministro.

Los ingenieros que elaboraron el proyecto dieron su opinión en el sentido de que, solamente en el caso en que las plantas suministradoras y también el mantenimiento de éstas se encuentren en manos del Estado, se podía asegurar una eficiencia en el servicio de suministro de energía y en el funcionamiento de los ferrocarriles.

Lo que quedaba por efectuar era solamente, buscar los aprovechamientos más adecuados del agua, conseguido esto, se trazaron los proyectos de las plantas.

Para las líneas de transporte, se escogió una tensión de 66.000 voltios.

A fin de reducir el alto potencial existente entre los conductores de transporte y la tierra, el punto medio del devanado de los transformadores monofásicos fué puesto a la tierra; con esta disposición, se consigue que el potencial entre los conductores y la tierra sea solamente la mitad de los 66.000 voltios, esto es que, entre cada conductor y la tierra existe nada más que 33.000 voltios.

Además, económicamente se había hecho una ganancia, porque los costos de construcción habían sido reducidos en una cierta proporción, debido al hecho de que los aisladores para la tensión de 33.000 V. costaban mucho menos que los para una tensión de 66.000 V. así como también el costo de construcción de las demás partes había sido reducido, sin contar con que la seguridad del servicio aumentaba.

Se dispuso asimismo, que las líneas de transporte llevaran cuatro conductores, es decir, dos pares, para que, en caso de que un conductor de línea sufriera un desperfecto cualquiera, por medio de una sencilla maniobra, se pudiera poner en servicio el segundo par de conductores de reserva, para que de esta manera el servicio no sufra interrupciones.



Las líneas de transporte terminan en subestaciones construídas muy cerca a las líneas férreas, y en las que la energía monofásica es reducida de 66.000 a 15.000 voltios.

Entonces, las subestaciones alimentan directamente con uno de los polos al conductor de contacto que se encuentra tendido encima y a lo largo de la vía, mientras el otro polo es conectado directamente con los rieles, se puede pues decir que el conductor de contacto (con 15.000 voltios, a  $16\frac{2}{3}$  de frecuencia) lleva la corriente a la locomotora, mientras que los rieles (conectados entre sí por medio de conductores de cobre) sirven para regresar la corriente a la subestación.

En la locomotora se encuentra montado un transformador que se encarga de rebajar la tensión del hilo de contacto de 15.000 voltios a una tensión de m. o. m. 600 voltios, tensión con la cual trabajan los motores de las locomotoras.

Inútil sería explicar que en las plantas suministradoras se han montado transformadores que aumentan la tensión a los bornes de los alternadores monofásicos (que es de 15.000 voltios) a la tensión que conducen las líneas de transporte, o sea 66.000 voltios. En capítulos posteriores se verá más detenidamente la construcción de las plantas, subestaciones, líneas de transporte, conductores de contacto y las locomotoras mismas.

Para poder determinar la capacidad y el número de las plantas suministradoras, fué necesario hacer estudios muy detenidos y exactos sobre las necesidades de los ferrocarriles, estos estudios debían basarse muy especialmente sobre la naturaleza del servicio ferroviario.

Esta naturaleza especial consta de las siguientes características:

(El servicio global de los ferrocarriles electrificados, es comparado al servicio de una gran sociedad de explotación, con la única diferencia de que los consumidores no son particulares (Fábricas, Hogares, etc.) sino que son los ferrocarriles).

La suma de las potencias que absorben en el mismo instante las distintas locomotoras que se encuentran en servicio, más las pérdidas que ocurren en los conductores de contacto, más las pérdidas que se producen en las subestaciones, líneas de transporte, la suma total en el instante considerado, es igual a la potencia que tienen que desarrollar las plantas alimentadoras en ese momento.



La carga provocada por una locomotora es sumamente variable, es muy diferente a la carga provocada por los consumidores de una ciudad, porque al arrancar un tren, así como al cambiar las velocidades de un plano a una pendiente, la parada en las estaciones o ante una señal cerrada, etc. provocan variaciones grandes y bruscas de la energía absorbida por la locomotora.

La variación de la potencia en los ferrocarriles es grande, por ejemplo, para trenes expresos de pasajeros, o trenes pesados de carga, el cambio de «Reposo a plena marcha» puede requerir de 200 a 300 KW. dentro de 1-3 minutos, y el cambio de «plena carga» a «marcha a vacío» la misma variación de potencia dentro de 1-2 segundos (conocido es que una de las ventajas del tren eléctrico consiste en un arranque bastante rápido, de lo que depende en gran parte el mejoramiento del horario).

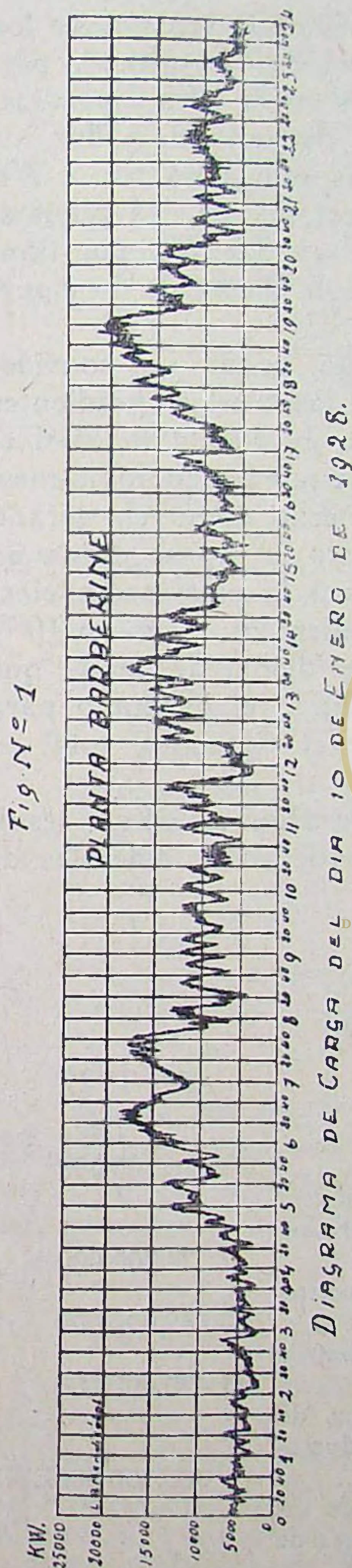
Para un tren pesado que corre en la llanura, la relación entre la potencia máxima y la potencia media es hasta de: 10 : 1. La relación indicada se refiere nada más que a un solo tren; ahora, claro está, que la relación se mejora cuando se toma en cuenta el conjunto de todos los trenes que circulan sobre la red ferroviaria, por cuanto los períodos de arranque respectivos y los momentos de parada no coinciden entre sí, sino que tienen un decalaje con respecto al tiempo. Comprueban lo dicho las cifras que se ven a continuación; se refieren a una época en que la electrificación se encontraba bastante adelantada.

Para una mejor comprensión, los valores máximos y los valores mínimos han sido colocados en distintos renglones.

Tiemp. hora	8.25	11.10	12.25	13.10	13.26	15.55	17.42	17.59	18.46	19.32
KW. máx.	75800		70700		74300		73700		76000	75400
KW. mín.		30300		45100		34700		43100		

La energía total desarrollada por todas las plantas durante las 24 horas del día, y a que se refieren las cifras indicadas arriba, era de 1.048.500 KW. horas. Basándose sobre la misma cifra de KW. horas, y admitiendo que la potencia hubiera sido constante durante las 24 horas, se recibiría una potencia cómputo constante de 43.700 KW., pues la relación entre la potencia máxima y la potencia cómputo





el día considerado era de:

$$\frac{76000}{43700} = 1,74.$$

A continuación vemos un diagrama (fig. 1), que se refiere a una sola planta, (no al conjunto de ellas como la planilla de arriba), se puede ver claramente las variaciones de la potencia durante un día entero. La planta Barberine, de donde proviene este diagrama, se encuentra en la parte francesa de la Suiza.

La relación entre el valor máximo y el valor cómputo de la potencia, para esta planta alcanza a m. o. m:

$$\frac{20000}{10000} = 2,0$$

El servicio ha demostrado que la relación entre el valor máximo y valor cómputo de los KW. de potencia, son casi iguales los resultados cuando éstos se refieren a la carga diaria o a la carga anual.

El trabajo necesario para mover la unidad de peso de un tren (la tonelada), vamos a expresar en watios-hora por tonelada-kilómetro (Wh por tkm.), esto, relacionado a las barras colectoras de la subestación (barras de 15.000 voltios), o relacionado a las barras colectoras de la planta misma. En el primer caso, las pérdidas en la locomotora y en los conductores de contacto se encuentran comprendidas en la cifra específica mencionada, en el segundo caso, además de estas pérdidas, se producen pérdidas también en la subestación, línea de trans-



porte y en los transformadores que elevan la tensión de los alternadores a la tensión de transporte (66.000 voltios), pérdidas que se encuentran comprendidas en la cifra específica.

Relacionando a todo el año y al conjunto de todos los trenes, se ha determinado esta cifra específica en 31, 7 Wh por tkm. medidos en las barras colectoras de las plantas. La diferencia entre estas dos cifras, o sea 3,5 Wh por tkm. representa las pérdidas en la subestación, líneas de transporte y transformadores de las plantas.

El consumo específico determinado, puede ser considerado como pequeño, si se considera las fuertes gradientes de las vías férreas, y además, tomando en cuenta la calefacción y ventilación eléctricas que son instaladas en los trenes.

El servicio requiere tanto en invierno como en verano casi la misma porción de energía, esto si no se toma en cuenta la energía que es necesaria para la calefacción eléctrica; pues, la calefacción eléctrica requiere m. o. m. un 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> de la energía de tracción propiamente dicha, de modo que en el invierno, el consumo total (incluido el consumo para la calefacción) es de 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> mayor que el consumo total en verano.

La tabla I, nos ilustra acerca de algunas cifras resultantes obtenidas del servicio de los ferrocarriles federales de la Suiza en el año de 1929.

TABLA I  
(Véase plano al final)

	AÑO 1929
1 Longitud total de las vías férreas . . . . .	1 666 km.
2 Trabajo expresado en Tren-Kilómetros.....	26.200 000
3 Trabajo expresado en Locomotora-Kilómetros (algunos trenes son movidos por dos locomotoras) . . . . .	29.700 000
4 Trabajo expresado en tonelada-Kilómetros (sin contar las locomotoras) . . . . .	8.549.000 000
5 Trabajo expresado en toneladas-Kilómetros (incluidas las locomotoras) . . . . .	11.470.000 000
6 Energía total entregada en los puntos de alimentación de la red de los conductores de contacto (15 000 V.) . . . . .	363.250 000kWh.
7 Wh. por tkm. incluida la calefacción de los trenes y pérdidas en los conductores de contacto . . . . .	31,7



8	Energía entregada a otros servicios y a ferrocarriles ajenos, pérdidas en las subestaciones y en las líneas de transporte...	56.000 000 kWh.
9	Energía total desarrollada por las plantas del ferrocarril en kWh, suministrada a los ferrocarriles federales en Suiza .....	395.000 000 kWh.
10	Energía que es suministrada a los ferrocarriles por plantas que no pertenecen a los ferrocarriles federales .....	24.250 000 kWh.
11	Energía total desarrollada por: plantas pertenecientes al ferrocarril más plantas no pertenecientes (pos: 9 + 10) igual al consumo total (pos: 6 + 8) .....	419.250 000 kWh.
12	Cómputo de la potencia constante que correspondería a la energía enumerada bajo pos: 11 (419.250000 kWh. 8760 Horas .....	47.860 KW.
13	Potencia máxima anual relacionada a la energía enumerada bajo numeral Pos 11 .....	81.362 KW.
14	Relación entre KW. máx. anual y KW. cóm. const. (pos. 13/pos. 12)= .....	1,7
15	Pot. máx. anual que desarrollan las turbinas, relacionada a la energía bajo numeral pos 11 .....	116.000 HP.
16	Energía disponible en las plantas que pertenecen a los ferrocarriles federales .....	420.000 000 kWh.
17	Energía disponible en las plantas pertenecientes a particulares (contratos) .....	25.000 000 kWh.
18	Energía disponible Total (numerales: pos 16 y 17) .....	445.000 000 kWh.
19	Energía excedente disponible .....	105.000 000 kWh.
20	Energía excedente total entregada a la Industria .....	100.000 000 kWh.

Se ve que en el año de 1929, el consumo total de energía de los ferrocarriles, alcanza ya a la capacidad de suministro de las plantas pertenecientes a los ferrocarriles federales, (comparar Numerales Pos. 11 con pos. 16.)

Tomando en cuenta los momentos específicos del servicio de ferrocarril y después de haber hecho un plano sobre la energía eléctrica que necesita este servicio, se procedió a la determinación y a la proyectación de las plantas hidroeléctricas necesarias. Como se ve en el plano al final se había proyectado dos grupos de plantas, constando cada



grupo de dos plantas. El uno llamado «Grupo San Gothardo» consta de las plantas «AMSTEG» y «RITOM», grupo que debe suministrar energía a la red ferroviaria central y a la de la parte Este de la Suiza; el segundo grupo, llamado «Grupo Wallis» consta también de dos plantas, la planta «BARBERINE» y la planta «VERNAYA7», grupo que debe suministrar energía a la red ferroviaria de la parte francesa de la Suiza.

Además, se ha proyectado la construcción de la planta «ETZEL» en la parte oriental de la Suiza, la que debe ser alimentada por un gran embalsadero o lago artificial de acumulación de agua.

Como medida preventiva para el futuro, en caso de que la necesidad se haga sentir más tarde, a fin de poder aumentar más la capacidad total de todas las plantas, se ha negociado el aprovechamiento del río «AARE», cuya planta se llamará «RUPPERSWIL».

A medida que adelantaban los trabajos de electrificación de los ferrocarriles, se procedía a la construcción de las ya citadas plantas, trabajos que se realizaban de acuerdo con un plan bien elaborado. En la actualidad todas las plantas que hemos citado, se encuentran terminadas y en orden de servicio, excepción hecha de la planta «RUPPERSWIL» que aún es un proyecto.

La tabla II, indica los datos principales de las citadas plantas.

TABLA II

DATOS DE LAS PLANTAS HIDRO-ELECTRICAS

Nombre de la planta	Río	Caudal aprovechado por m <sup>3</sup> seg.		Caída m.		Cantidad de acumulación m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup>	Potencia desarrollada HP.	Turbinas instaladas HP.	Mill. Kwh. Capacidad a desarrollar anualmente
		Mín.	Máx.	Bruto.	Neto				
		1	2	2	4	5	6	7	8

A. GRUPO SAN GOTHARDO

1. Amsteg	Reuss	4,0	30,0	282	270	0,2	11.000 (mínim)	90.000	150
2. Ritom	Fossbach	1,0 medio	7,0	828	808	26,9	8.000 (medio)	60.000	42



## B. GRUPO WALLIS

3. Barberine	Barberine	1,5 medio	7,0	760	735	39	11.000 (medio)	65.600	60
4. Vernayaz.	Eau noire	0,8	14,0	660	630	0,045	5.000 (mínim)	115.800	170
5. Etzel	Sihi	4,8 medio	24,0	483	370	96,5	22,500 (medio)	120.000	125
6. Rupperts- perswil(+)	Aare	75	350	12,5	11,-00	1,5	9.000	60.000	140

(\*) Hasta hoy día no está construida esta planta.

Como se ve, todas las plantas son de alta presión, algunas de ellas se encuentran provistas de grandes lagos de acumulación (embalsaderos), únicamente la planta Rupperts-  
wil, que hasta la presente fecha no ha sido construida todavía, pertenece al tipo de las «plantas del río», es decir, a las plantas a baja presión.

En vista de que el caudal de agua del río Aare, en el lecho del cual se encuentra proyectada la planta Rupperts-  
wil, varía mucho, esta planta debe ser acoplada a las demás para compensar de esta manera la energía producida entre la planta del río Aare y las plantas con lago de acumulación. Así, cuando es pequeño el caudal del río Aare, y por consiguiente la potencia de la planta Rupperts-  
wil es deficiente, la falta de potencia debe ser suministrada por las otras plantas, esto se consigue, haciendo trabajar a la primera en paralelo con las segundas.

Es necesario proceder de esta manera, porque ocurre que en el invierno, cuando los grandes depósitos de nieve están helados y todos los ríos de la Suiza llevan poca agua, entonces la planta Rupperts-  
wil aporta poca energía, pero cuando llega la primavera, ocurre lo contrario, las grandes acumulaciones de nieve comienzan a dar sus aguas y los ríos llevan su máximo caudal, entonces la planta Rupperts-  
wil, será capaz de desarrollar su potencia máxima, haciendo de esta manera posible la economía del agua de los embalsaderos, para que éstos se encuentren listos a entrar en funcionamiento durante el tiempo de estiaje de los ríos.

Hemos dicho que las plantas están divididas en dos grupos; en vista de que el grupo Vernayaz-Barberine (grupo Wallis) que se encuentra instalado en la parte francesa de la Suiza, es capaz de desarrollar más energía de la que nece-



sitan los ferrocarriles que circulan en esta parte, y mientras el grupo Amsteg-Rítom (grupo San Gothardo) que está instalado en el centro de la Suiza, no tiene la suficiente energía para alimentar a los ferrocarriles que circulan en las partes: central, oriente y norte de la Suiza, se hacía necesario acoplar estos dos grupos mediante una línea potente de acoplamiento. Para este fin, se escogió una tensión de 132.000 voltios (el doble valor de la tensión que llevan las demás líneas de transporte).

Como se puede apreciar en el plano que consta al final, esta línea toma su comienzo en el grupo de plantas Vernayaz-Barberine y termina en la subestación Rupperswil, la que se encuentra en la proximidad del lugar en que está proyectada la planta del mismo nombre. En la subestación antes mencionada, la línea de transporte a 132.000 voltios es acoplada con la línea a 66.000 voltios, que viene del grupo de plantas Amsteg-Rítom, y que pasa por la Planta «Etzel»; el acoplamiento se efectúa a través de transformadores de 132.000 V/66.000 V.

Al elaborarse el proyecto, se había tomado en cuenta que más tarde la línea a 66.000 voltios, debía ser transformada en línea a 132.000 voltios. En la actualidad, todavía no se ha efectuado dicha transformación, pero durante la construcción, se ha tomado en cuenta dicha modificación, de manera que el transformar la tensión de 66.000 V. a 132.000 V. no querrá decir ninguna dificultad cuando llegue el momento de realizarlo. Una vez realizada dicha modificación, los ferrocarriles federales dispondrán de una línea colectora general a 132.000 volt. («Barras colectoras Federales»), que atravesará toda la Suiza uniendo a todas las plantas productoras, es decir, todas las plantas que se han enumerado en la TABLA II. Todas estas plantas trabajarán sobre estas barras colectoras según un «Horario de carga» en el que se toma en cuenta el estado hidráulico de cada planta. Este horario es elaborado por una oficina técnica especial y central, que se comunica cada día con todas las plantas, las que se encuentran en la obligación de seguir estrictamente las órdenes emanadas de esta oficina central. (La fijación de la carga prescrita se efectúa mediante la manipulación de los reguladores de las turbinas).

Se puede considerar el conjunto de las plantas repartidas en toda Suiza como una sola planta hidráulica compuesta



de varios grupos, y las líneas de acoplamiento a 132.000 voltios, como las barras colectoras de esta planta.

Con esta marcha en paralelo, se consigue una economía en el gasto de agua, y además, aumenta el rendimiento de toda la instalación. Baja la relación entre potencia máxima y potencia cómputo, y además, el número de grupos que se encuentran trabajando simultáneamente es menor que para el caso en que cada planta trabaja individualmente.

En hojas posteriores entraremos a estudiar más detenidamente en la construcción de una parte de las plantas.

Al mismo tiempo que se iniciaba el diseño de las plantas, se procedía a la elaboración de los proyectos de las líneas de transporte, de las subestaciones y de los conductores de contacto, así como también, de las instalaciones de los teléfonos y estaciones de señales para las plantas y subestaciones.

Además, era necesario estudiar el tipo de las locomotoras, la calefacción eléctrica de los trenes y todas las exigencias respectivas.

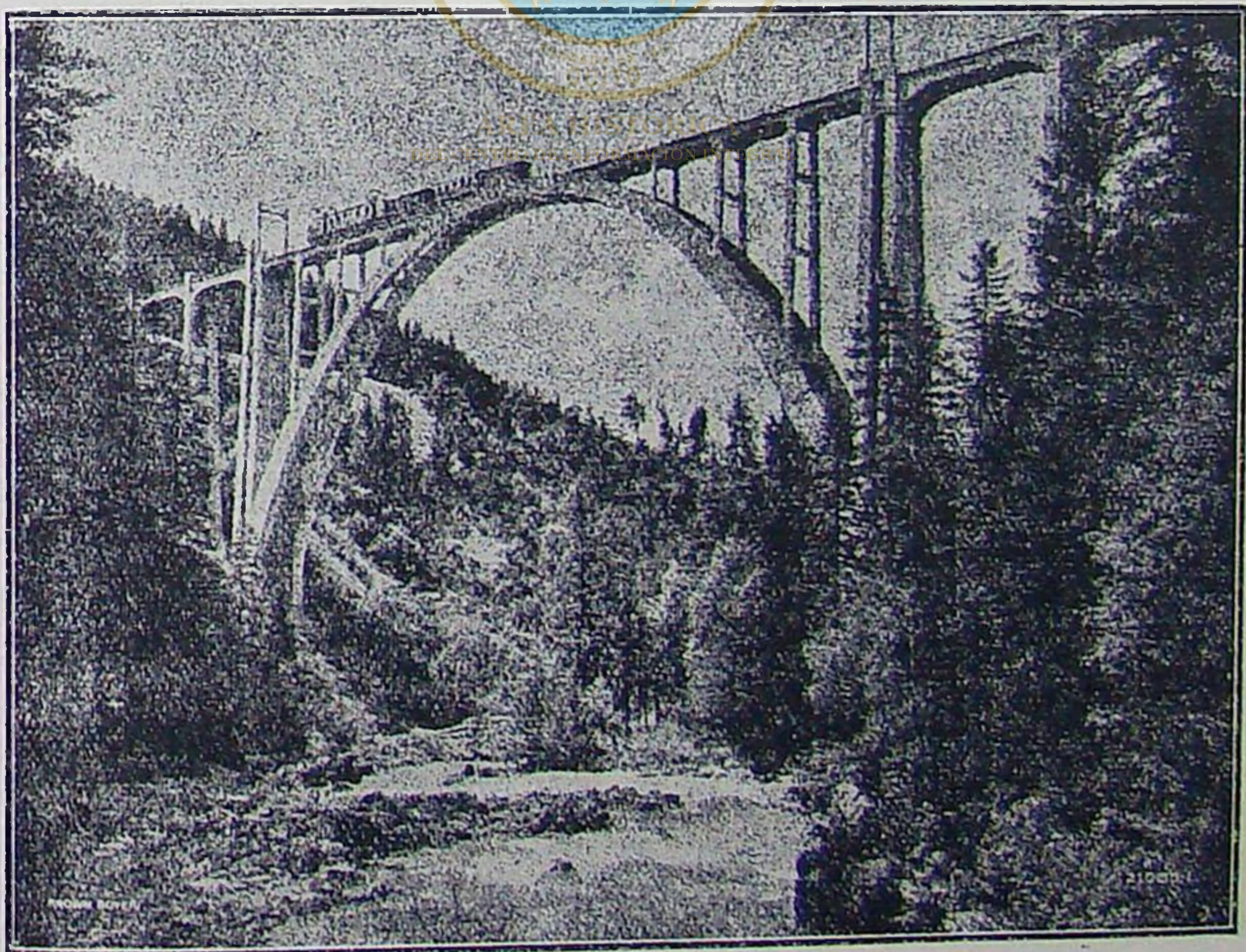


FIGURA 2



Un trabajo grande quería decir, el refuerzo y la modificación de un gran número de puentes, ya que las locomotoras eléctricas de gran tamaño tienen más peso que las locomotoras a vapor, que se encontraban en servicio antes de la electrificación. Además había que tomar en cuenta que los ferrocarriles eléctricos desarrollan mayores velocidades que los antiguos a vapor.

Hubo que proyectar la construcción de los depósitos de material rodante, talleres de construcción y reparación, etc. etc.

La figura que se ve (fig. N° 2), representa uno de los modernos puentes contruidos para los ferrocarriles federales de Suiza.

#### D. LA REALIZACION DEL PROYECTO

En vista del poco espacio de que disponemos, no nos es posible entrar detenidamente en los detalles de la construcción de los ferrocarriles eléctricos federales, por esto, nos limitamos a dar en pocos rasgos una descripción de dichos detalles.

#### I. LAS PLANTAS SUMINISTRADORAS

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

#### *Capacidad y construcción Hidráulica*

La capacidad, la caída y el contenido del lago de acumulación de cada planta se encuentran indicados en la tabla N°. II, todas estas cifras, como se ha dicho, se refieren al año de 1929. En la tabla III, se encuentran indicados los datos principales de las plantas Rítom, Amsteg (Grupo San Gothardo) y de las plantas Barberine y Vernayaz (Grupo Wallis).

Sin excepción, todas las turbinas de estas plantas son del tipo «Pelton» (a chorro libre); en el año al cual se refiere esta tabla, la planta «Etzel» no era aún construida, como tampoco la planta Ruppertsuil. La primera de las nombradas, fué puesta en el servicio, solamente en el año 1935, mientras la segunda, hoy día sigue siendo un proyecto.



Se puede constatar que las cifras de las casillas 1, 2, 3 y 4 en la columna 7 de la tabla II, son las mismas que las cifras de la casilla 3 de la tabla III.

Dividiendo los kwh, que constan en la columna 8 de la tabla II, por el número de horas que lleva un año (8.760 horas) se recibe los kw., cómputo con un factor que varía entre 2, 0 y 2, 5.

Las plantas Amsteg y Ritom, gracias a sus grandes acumulaciones de agua son capaces de producir una potencia cómputo, durante todo el año de 30.000 HP.

La figura N°. 3 nos muestra una vista del dique de contención de la planta Amsteg, cuyo contenido es de 200.000 m<sup>3</sup>.



FIGURA 3

Las plantas Vernayaz y Barberine, también, gracias a la acumulación de agua pueden desarrollar una potencia cómputo durante todo el año de 42.000 HP.

El embalse de la *planta Ritom*, que es un embalse artificial, como el de las demás plantas, tiene un «Dique de Pecho», cuya coronación tiene una longitud de 170 metros. En el proyecto se había previsto que la conducción del agua se efectuaría mediante un «Túnel bajo presión», es decir,



por un túnel completamente lleno de agua que hace presión; este túnel tiene una longitud de 868 metros y una sección de  $2,66 \text{ m}^2$ , de forma elíptica. La presión a que se encuentra sujetado el túnel es de 45 m. de la columna de agua.

Después de un tiempo de puesta en servicio esta planta, ocurrió que las paredes del túnel fueron atravesadas por un sinnúmero de fisuras finas, por las que se producían filtraciones y las pérdidas de agua ocasionadas por este desperfecto alcanzaban a 300 litros por segundo.

A fin de subsanar este inconveniente, se hubo que proceder a estrangular el agua en su entrada, además, se había practicado un orificio en el túnel para que saliera por éste el agua y entre en un canal de acceso abierto y provisional, merced a estas medidas, la presión del agua en el túnel bajó de 45 m. a 7 m. y la pérdida de agua producida por las fisuras, era insignificante.

Después de haber tapado las fisuras por medio de inyecciones de lechada de cal, y de haber procedido a un mejoramiento de la armadura de hierro del revestimiento del túnel, consistente en hormigón armado, fué posible poner al túnel en el servicio normal de acuerdo con el proyecto, es decir,

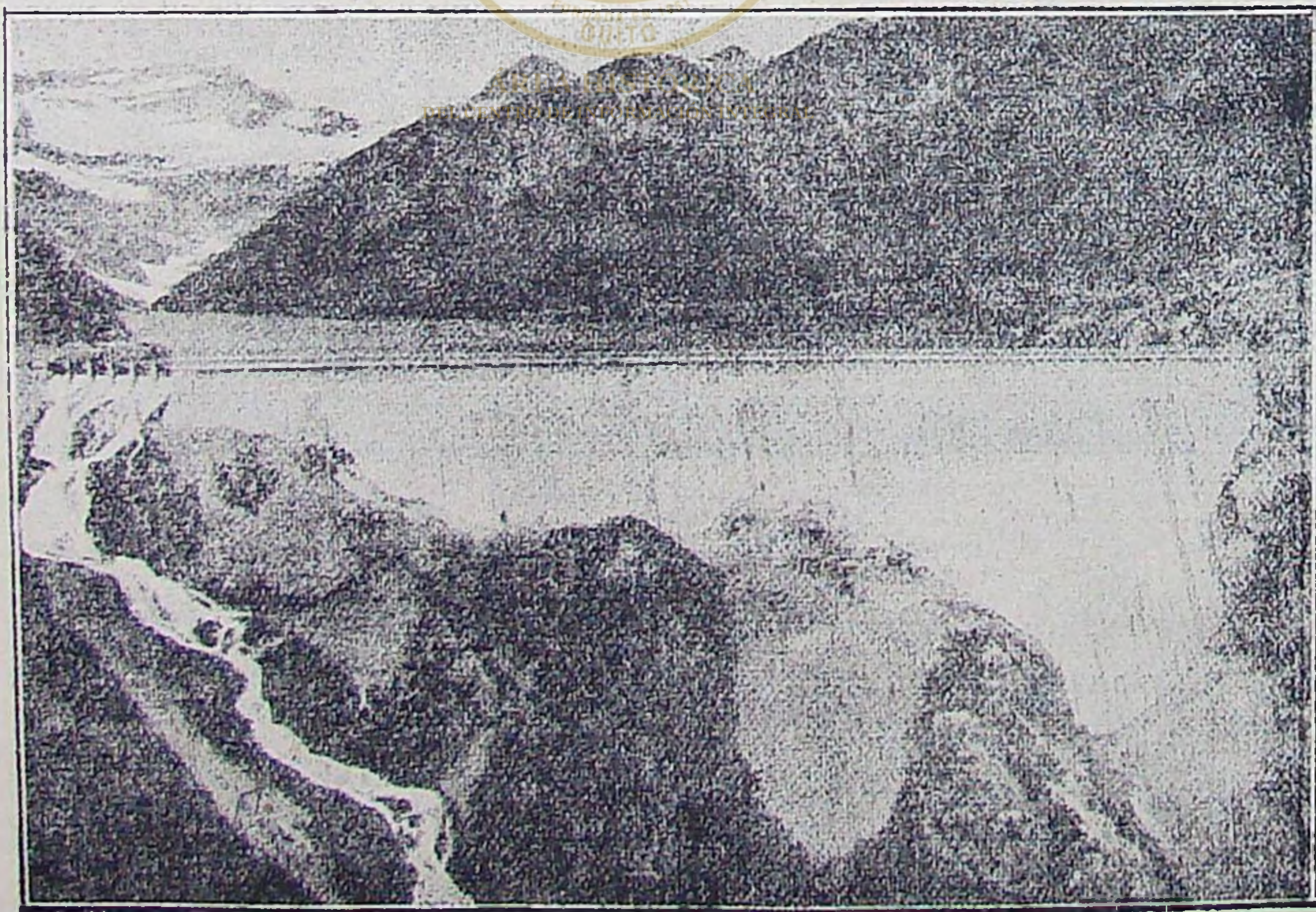


FIGURA 4



llevar el agua a través del túnel a la presión de 45 m. de la columna de agua.

El embalsadero de la *planta Amsteg*, fué creado por un «Dique en Arco», que tiene una altura de 32 m. Gracias a que la quebrada sobre la cual se asienta el dique y por la que atravesaba el río Reuss es bastante angosta, fué posible dar a este dique dimensiones muy restringidas. El túnel bajo presión para esta planta tiene una longitud de 7,5 km. y una sección de  $6,5 \text{ m}^2$ ; este túnel es revestido parcialmente.

El dique de la *planta Barberine*, (que se ve en la figura No. 4), por el contrario, tiene dimensiones bastante grandes, pertenece a la clase de «diques de peso», fué fundido con cemento líquido; para este trabajo se hicieron necesarios  $206.000 \text{ m}^3$  de betón líquido; la altura del dique es de 78 m., el espesor de la base es de 58,6 m. La coronación del muro tiene 285 m. de longitud. El túnel a presión de esta planta alcanza una longitud de 2.200 metros, encontrándose bajo una presión de 70 m. de la columna de agua. La roca por la cual atraviesa este túnel es de característica tan sólida que se ha suprimido el revestimiento en casi su totalidad, pues que solamente pequeños trechos han sido protegidos con un revestimiento de betón.

A continuación, damos la tabla No. III, con los datos de las plantas.

ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL  
QUITO

**TABLA III**  
**DATOS DE LAS PLANTAS**

	Ritom	Amsteg	Barberine	Vernayaz
<i>Capacidad de la Planta</i>				
Tiempo en que fué puesta en servicio.....	1920	1922	1923	1927
Número de grupos.....	4	6	4	6
Potencia instalada en la planta, HP (medida al acoplamiento) .....	60.000	90.000	65.600	115.800
<i>Las turbinas</i>				
Potencia útil de la turbina, HP	15.000	15.000	16.400	19.300
Caida neta, m. ....	808	270	735	630
Caudal de agua, litros por segundo .....	1.650	5.120	2.020	2.700



	Ritom	Amsteg	Barberine	Vernayaz
Número de rodetes .....	1	2	1	1
Número de inyectores por ro- dete .....	1	1	1	1
Tipo al que pertenece la tur- bina .....	Pelton	Pelton	Pelton	Pelton
Diámetro del rodete (respecto al chorro) medido en milí- metros .....	3.250	1.830	2.850	2.900
Peso de la turbina completa, toneladas .....	57	92	56	70
Momento de inercia, Tm² .....	49	40	36	75
Los alternadores				
Potencia de duración cos $\varphi$ = 0,75 KVA .....	9.000	10.000	10.000	11.000
Sobrecarga, duración 1/2 hora, cos $\varphi$ = 0,75 KVA .....	11.500	12.700	12.700	14.000
Sobrecarga, duración 20 mín. cos $\varphi$ = 0,75 KVA. ....	—	—	—	17.000
Diámetro exterior del estator mm. ....	6.000	6.100	6.000	6.160
Diámetro del rotor mm.....	3.456	3.350	3.456	3.558
Peso total del alternador, T.	222	244,6	224	230
Momento de inercia del rotor Tm² ..	404	494	408	445
Los transformadores				
Potencia de duración, cos $\varphi$ = 0,75 KVA .....	8.500	10.000	10.000	9.000
Sobrecarga, duración 1/2 hora, cos $\varphi$ = 0,75 KVA.....	11.000	12.000	12.000	11.500
Sobrecarga, duración 20 mín. cos $\varphi$ = 0,75 KVA .....	—	—	—	13.000
Relación de transformación KV .....	15/66	15/66	15/66	15/66 y 132
Peso sin aceite, T .....	37	39	62	104
Peso del aceite, T.....	13	10	15	23
Las líneas alimentadas por la planta				
Líneas de contacto.....	4	4	—	—
Líneas de transporte a 66 KV.	—	5	3	6
Líneas de transporte (acopla- miento) a una tensión de 132 KV .....	—	—	—	2
Cable subterráneo a 66 KV.	4	2	—	—



Respecto a las tuberías forzadas, cabe indicar que, en la época en que la planta Rítom fué construída (1918-1919) no se tenía bastante experiencia para soldadura de tubos que sobrepasaban un espesor de 35 mm.

A fin de recibir espesores menores que el indicado, fué necesario escoger diámetros moderados, es decir, que para la planta Rítom, fué preciso subdividir la tubería madre, en dos tuberías de un diámetro menor, a partir de una cierta presión.

Unos años más tarde, al construir la planta Vernayaz, el procedimiento de «soldadura con gas Hidrógeno» estaba ya tan perfeccionado, que se ha podido soldar tubos de un espesor de 49 mm.

Las tuberías de todas las plantas, están provistas en su término superior de una válvula automática de seguridad, en forma de válvula mariposa, esta válvula cierra automáticamente la entrada de agua en la tubería en el caso en que ocurre una rotura de ésta.

La válvula de seguridad está gobernada por un detector, que consta de una palanca en forma de cuchara, que es accionada en el momento de la rotura, este dispositivo se encuentra instalado en el interior del tubo, porque trabaja con el aumento de velocidad del agua, que es producida por el paso de mayor cantidad de líquido, la mayor presión del agua sobre la palanca pone en movimiento a la válvula y ésta cierra automáticamente el paso. Claro está que este dispositivo debe ir combinado con una válvula de «Ventosa» la que debe dejar entrar aire en la parte del tubo que se encuentra inferior a la válvula de seguridad, a fin de que no deje producirse un vacío en el interior del tubo, ya que el efecto de succión podría producir el achatamiento de la tubería, deformándola completamente.

La válvula de seguridad puede ser gobernada también en la planta misma, a mano y por control remoto. La instalación de esta válvula se debe a que la característica del terreno bastante rocoso por la que atraviesa la tubería, puede en un momento dado desprenderse y caer sobre los tubos rompiéndolos completamente.

Antes de entregar los tubos, en las fábricas se procede a una prueba de sobrepresión, igual al doble valor de la presión normal, y, una vez instalada la tubería, en el lugar



de trabajo, se procede también a una prueba de sobrepresión de 1,5 veces la presión normal.

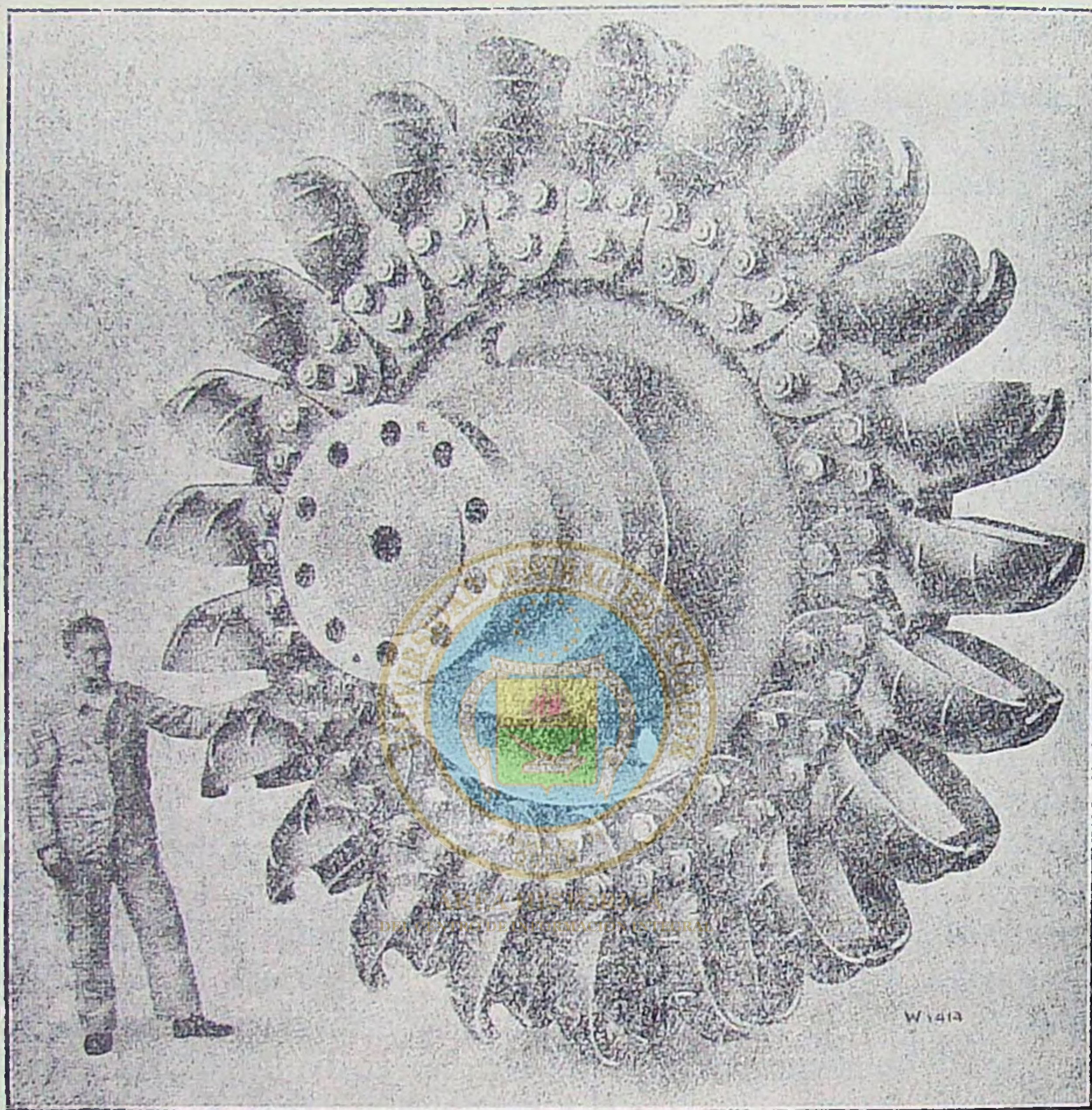


FIGURA 5

#### EL EQUIPO MAQUINAL DE LAS PLANTAS

Los datos referentes a las máquinas y transformadores instalados en las plantas: Ritom, Amsteg, Vernayaz, Barberine, figuran en la Tabla N°. III.

Todas las turbinas, como se puede ver en la misma tabla pertenecen al tipo «Pelton», a chorro libre y eje horizontal, (figura N°. 5) con acoplamiento rígido con el alternador res-



pectivo. Los grupos turbina-alternador tienen tres cojinetes. La velocidad de los grupos es de  $333 \frac{1}{3}$  de revoluciones por minuto.

Los alternadores llevan 6 polos, y engendran energía alterna monofásica a una frecuencia de  $16 \frac{2}{3}$  ciclos por segundo. Esta es la forma de energía eléctrica con que son alimentados los ferrocarriles federales.

Uno de los alternadores instalados en las plantas Amsteg y Ritom, respectivamente, son alternadores trifásicos con 18 polos, que engendran corriente trifásica a 50 ciclos por segundo. Estos alternadores están destinados a convertir la energía hidráulica excedente en energía eléctrica industrial, la que es vendida por el Estado (a quien pertenecen las plantas del ferrocarril) a las sociedades industriales particulares.

Todas las turbinas tienen dispositivos de seguridad que cierran automáticamente la entrada de agua a las turbinas en caso de que los reguladores automáticos de velocidad no funcionen, esto es en prevención de que las turbinas no adquieran sobrevelocidades peligrosas.

Las válvulas de entrada de agua a las turbinas, son reguladas hidráulicamente y a distancia. Los reguladores funcionan de modo que la sobrepresión que se produce en la tubería, no sobrepase de un 10 % de la presión normal, aún en el caso en que las turbinas de toda una planta fueran cerradas al mismo tiempo.

Todos los generadores son completamente cerrados, es decir, del tipo «A ventilación forzada» (ver figura N°. 6). Pues los generadores aspiran el aire fresco por canales que son practicados en el piso hasta el sótano, y el aire caliente es expulsado al exterior por canales también practicados en la construcción; en el invierno, el aire caliente, es lanzado directamente en el interior de la casa de máquinas, sirviendo en este caso de medio calefactor.

Debido a que la construcción de los alternadores es completamente cerrada, el ruido que produce durante la marcha es tan poco apreciable, que aún estando charlando muy quedo dos personas al lado de las máquinas no son interrumpidas por el ruido del trabajo de éstas.

Para el control de la temperatura de los arrollamientos y de los cojinetes, se dispone de termómetros que se encuentran empotrados directamente en dichas partes, y cuyas indicaciones son transportadas a un tablero de la sala de control.



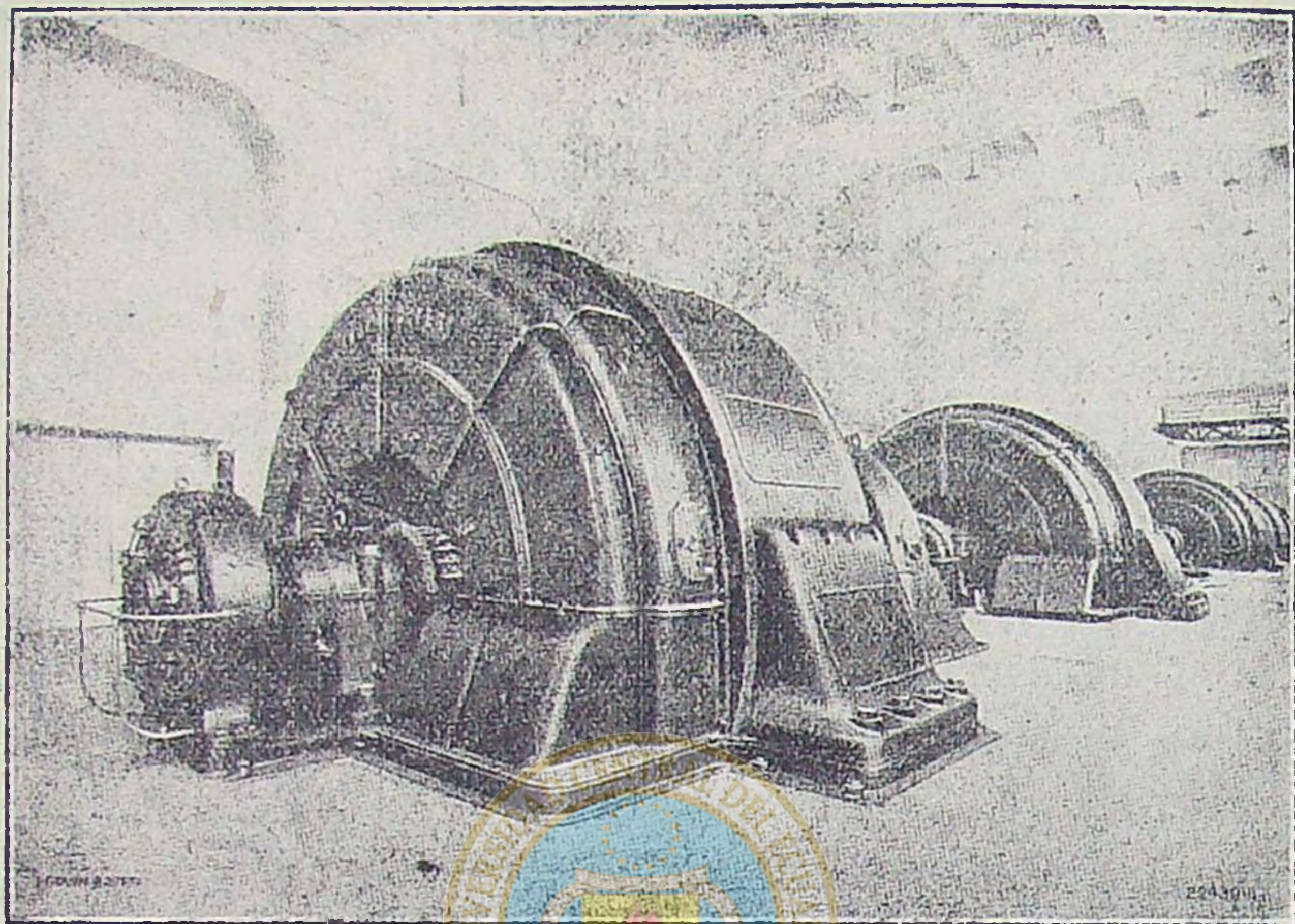


FIGURA 6. Vista de la disposición de los alternadores en el interior de la sala de máquinas de una planta. (Planta Vernayaz)

ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Uno de los polos del arrollamiento (monofásico) de los alternadores es llevado a la tierra.

Cada alternador tiene su excitación individual, pues, se ha acoplado en el extremo del eje del generador una excitatriz.

La tensión normal para todos los alternadores es de 15.000 voltios, y como vimos en párrafos anteriores, la tensión de los alternadores es elevada a 66.000 voltios para que sea transportada; además se dijo que el punto medio de los arrollamientos de los transformadores (lados 66.000 voltios) es conectado con la tierra a través de una resistencia de un gran número de ohmios.

Las figuras números 7, 8 y 9, nos muestran respectivamente: Una vista de la casa de máquinas de la planta Barberine; una vista de la casa de máquinas de la planta Vernayaz; y dos cortes de la planta Vernayaz, uno demos-



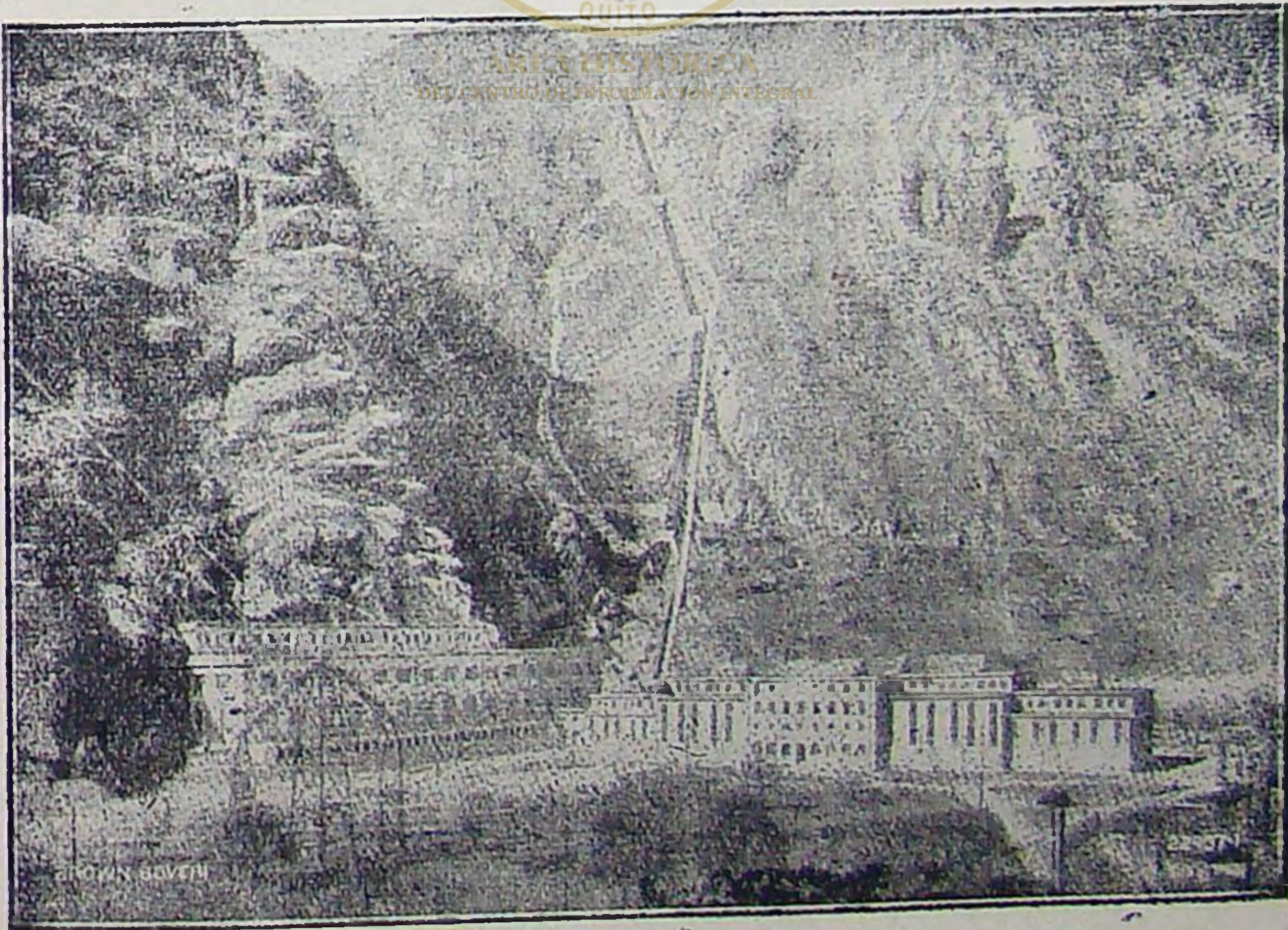
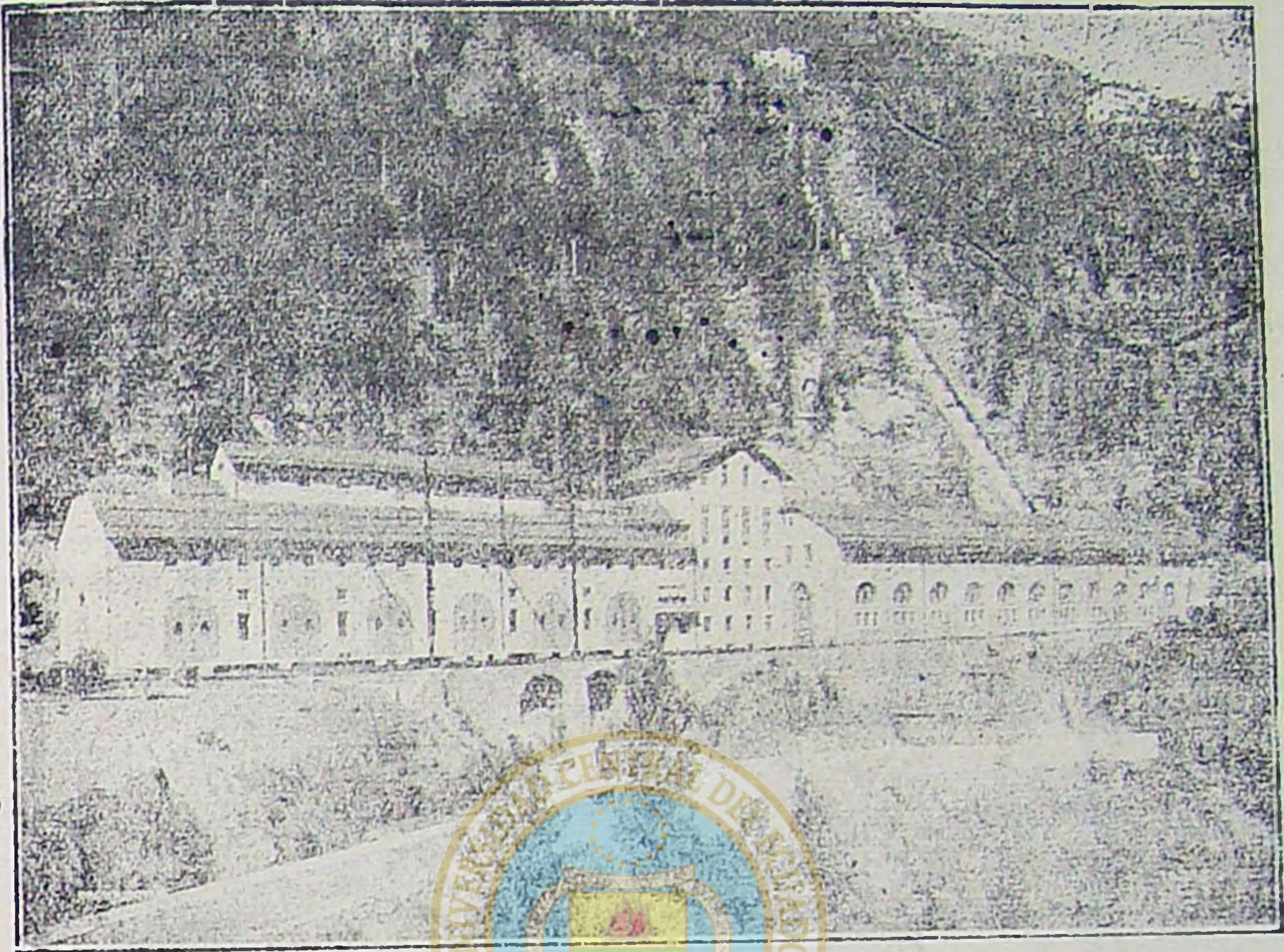


FIGURA 3



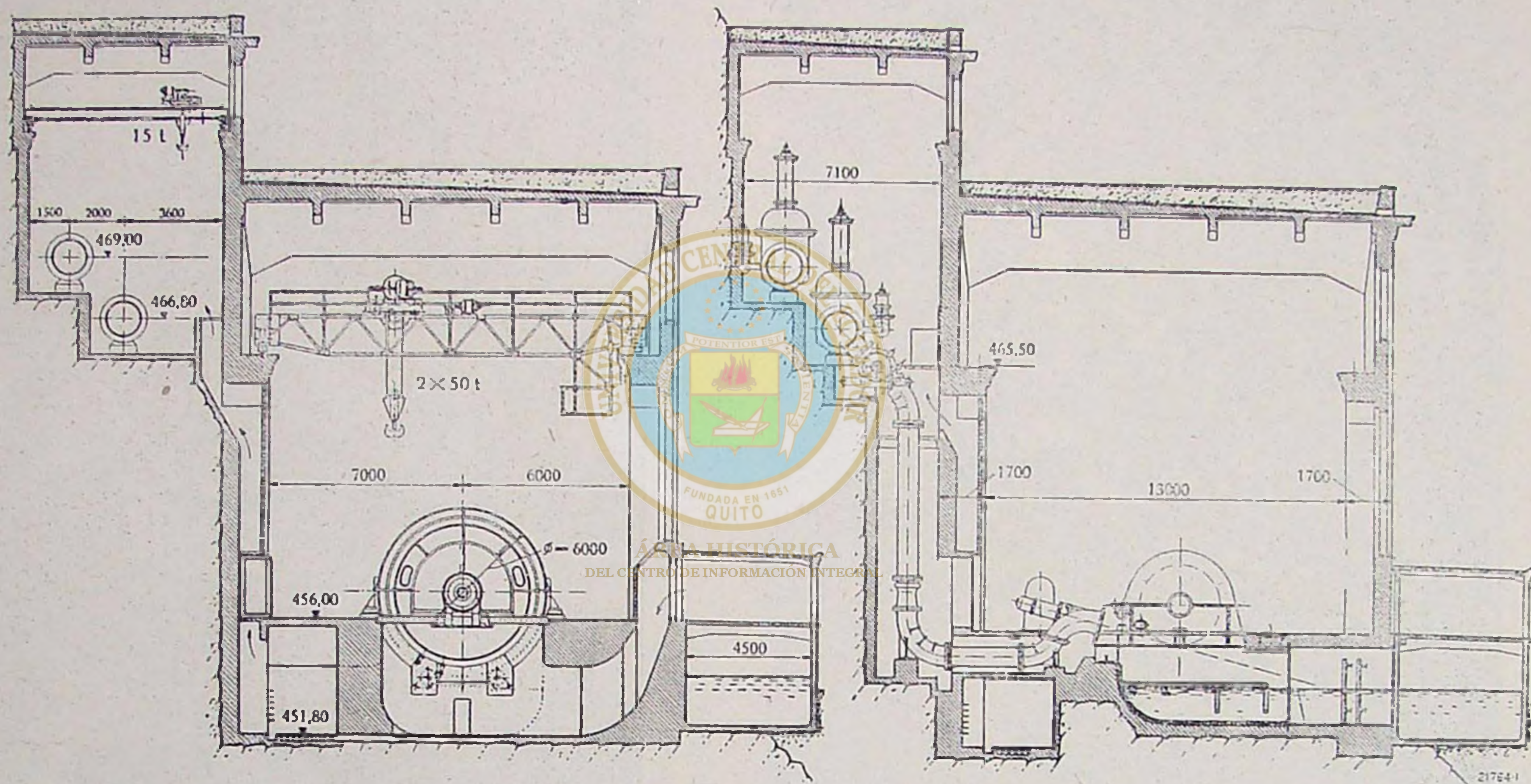


FIGURA 9



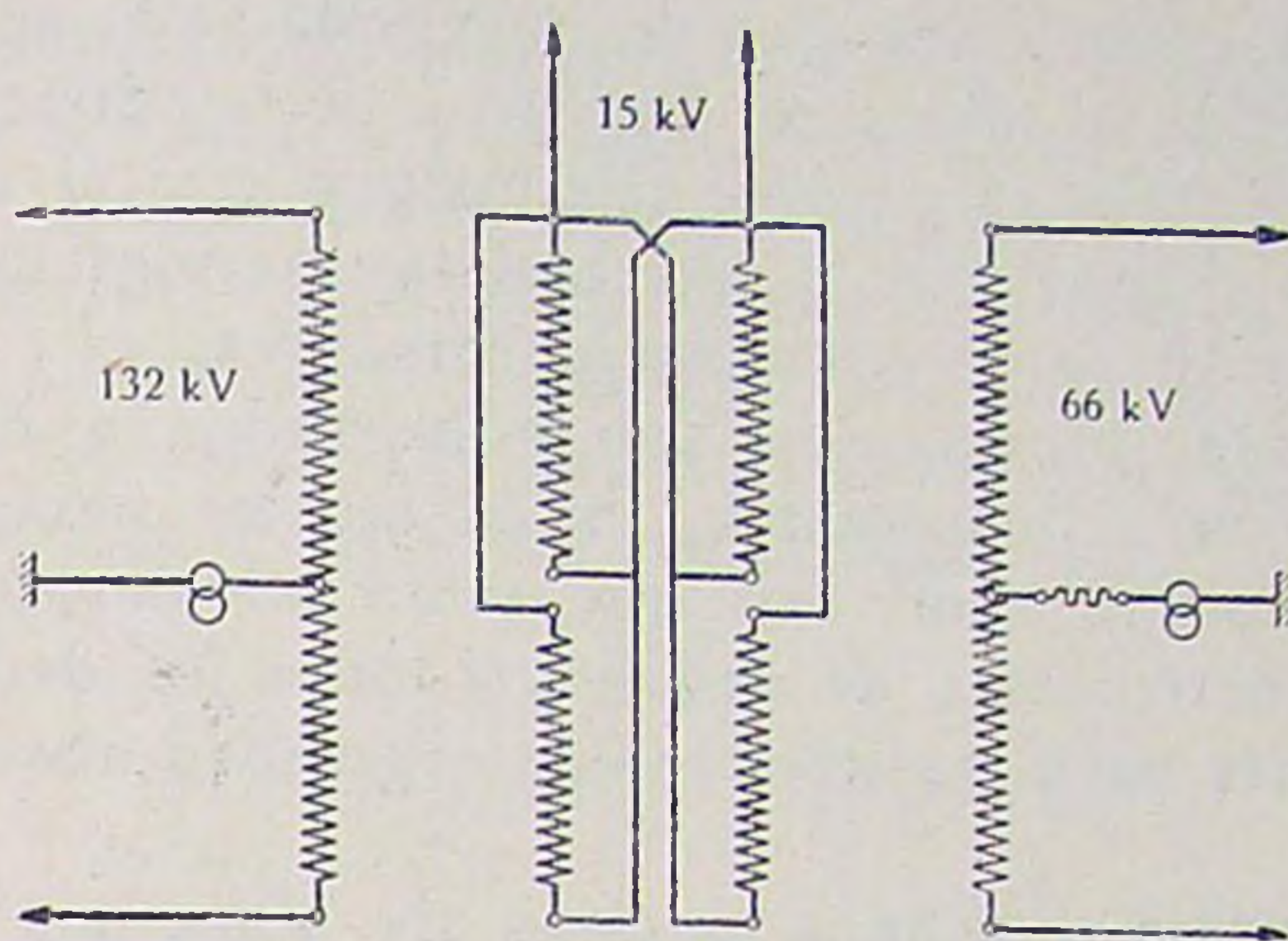


FIGURA 10

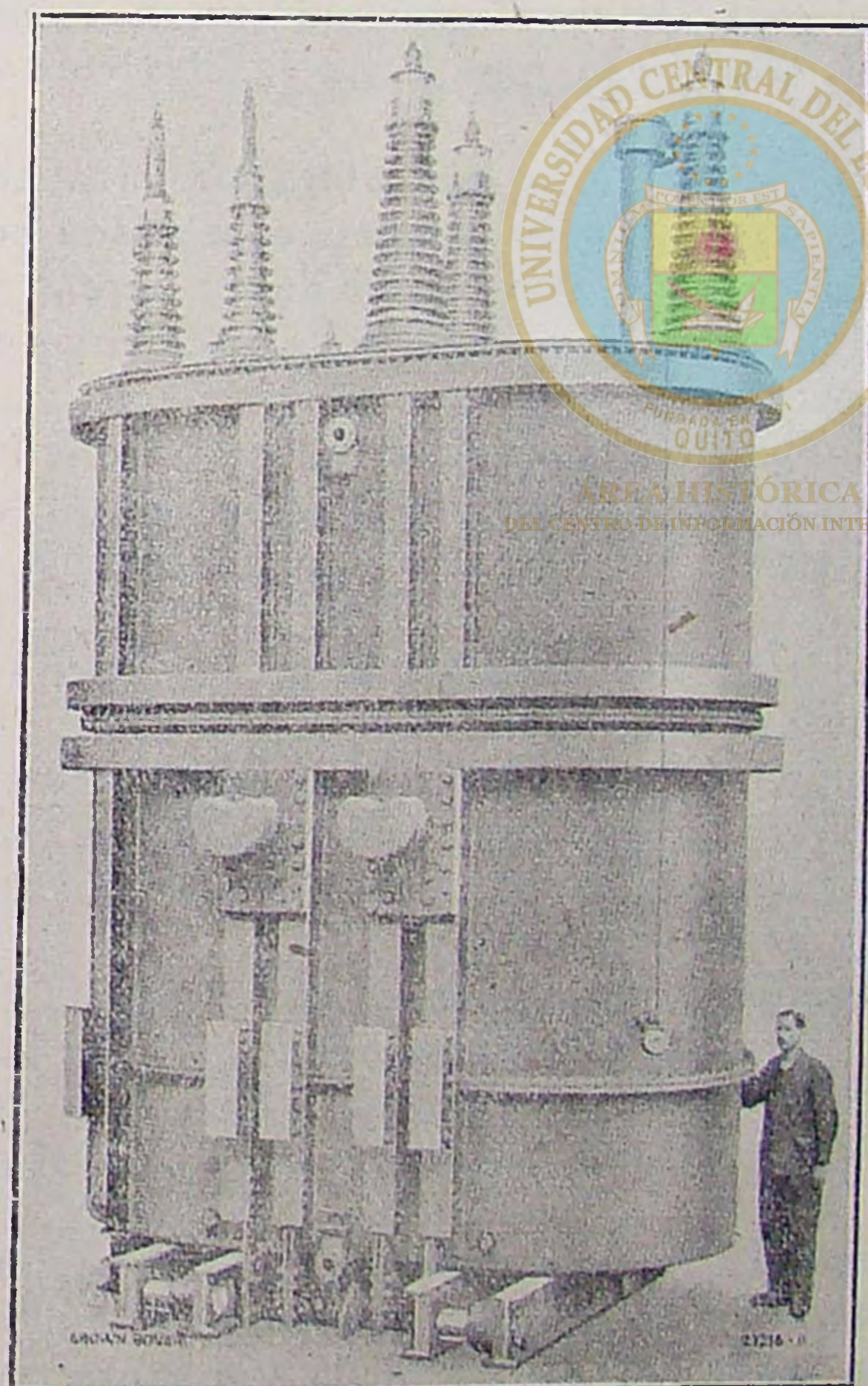


FIGURA 11

trando el corte de la parte generadores, y el otro, un corte de la parte turbinas.

Los transformadores de la planta Vernayaz, tienen tres arrollamientos, uno para 15.000 v., uno para 66 KV. y otro para 132 KV.; esto se debe a que la planta Vernayaz trabaja con la línea de transporte a 66 KV. y también con la línea de transporte a 132 KV. (Barra colectora de los ferrocarriles federales de la Suiza). La mitad del arrollamiento de 132 KV. es conectado directamente con la tierra, no a través de una resistencia como para el arrollamiento a 66 KV. (ver el esquema adjunto).

En las plantas Amsteg y Ritom, los transformadores son colocados en celdas cerradas e independientes, mientras en la planta Vernayaz, el conjunto de los transformadores y



aparatos de comando están colocados en una sola sala, en la que no existen ni celdas ni tabiques. La razón de la adopción de este sistema de montaje, es porque se consigue con él una mejor claridad en la disposición lo que facilita una vigilancia eficaz sobre todos los aparatos y los transformadores.

Los aparatos más importantes, son gobernados a control remoto desde la sala de comando, en la que se encuentran los paneles y pupitres sobre los que están adosados los dispositivos ópticos, acústicos y de señales, y todos los demás que son indispensables para garantizar una seguridad absoluta del servicio.

Las plantas Amsteg y Ritom, a más de alimentar las líneas de transporte a 66 KV., alimentan directamente los conductores de contacto de los ferrocarriles, de modo que estas dos plantas juegan los papeles de plantas y de subestaciones al mismo tiempo. Además, estas plantas alimentan cables subterráneos a 66 KV. que sirven para llevar la corriente al distrito de «San Gothardo».

Se había escogido este servicio de cables subterráneos para esta región, en vista de que generalmente es azotada por fuertes tempestades y nevadas, y al construir líneas aéreas en esta región se habría registrado frecuentemente accidentes de carácter mecánico y eléctrico.

Merece hacer una mención especial, el hecho de que los cables subterráneos utilizados en esta instalación fueron de los primeros fabricados para una tensión tan alta como es la de 66.000 voltios.

La figura Nº. 12, demuestra el esquema de los circuitos principales de corriente de la planta Barberine.

Como se ve, los alternadores son acoplados directamente con los transformadores sin que exista entre éstos un interruptor, pues, los interruptores se encuentran montados directamente en la parte de 66.000 voltios.

Se ve, como indicamos antes, que una de las barras colectoras a 15.000 voltios es puesta a la tierra.

Las barras colectoras a 66.000 voltios, se han ejecutado según el sistema de «Barra Doble», lo que aumenta la seguridad del servicio.

Los dos sistemas pueden ser acoplados entre sí por medio de interruptores de acoplamiento, los que constan también en el esquema. Las salidas de la línea de transporte van provistas de pararrayos y bobinas de self, a más de los



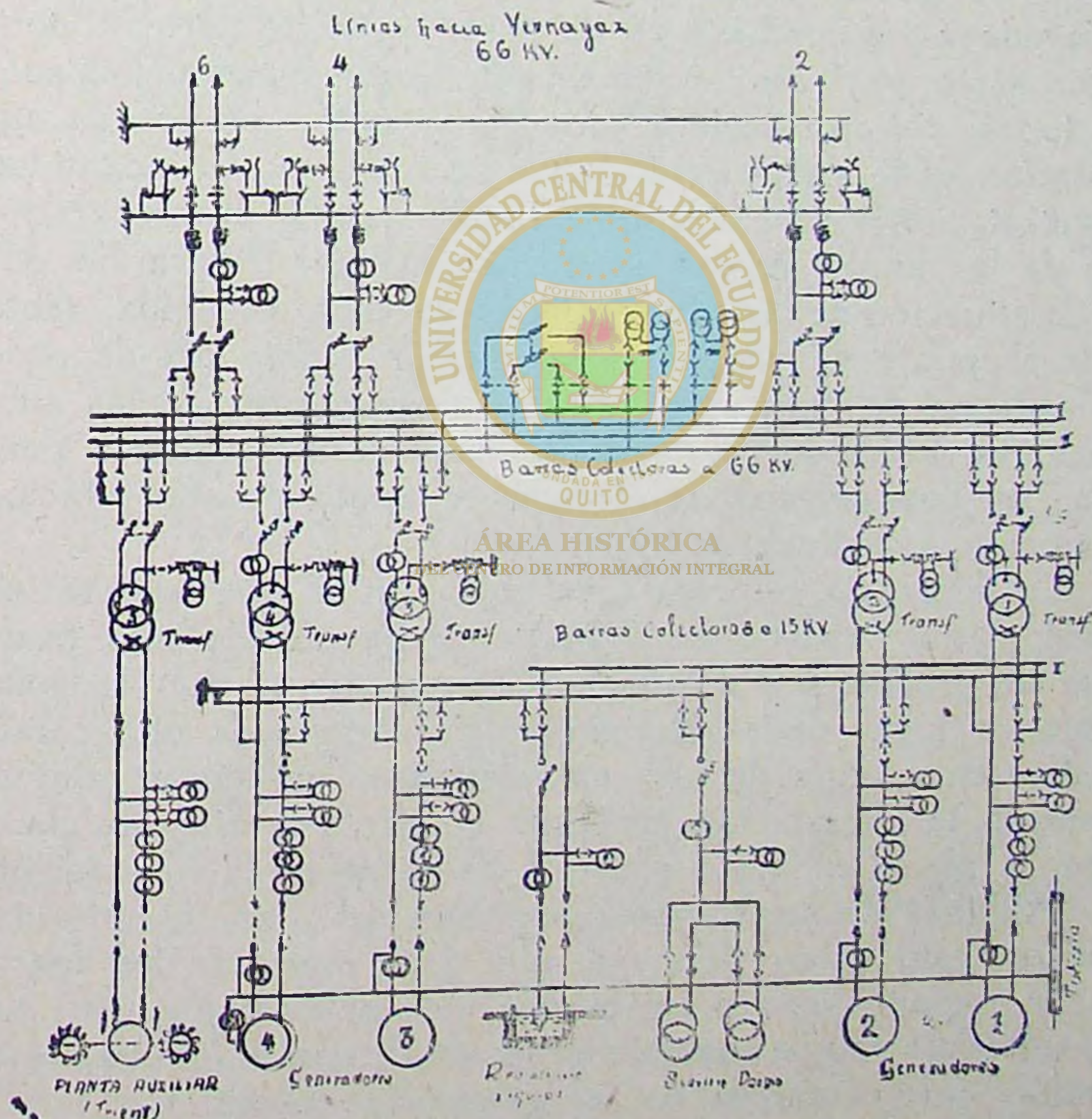
seccionadores que permiten poner a tierra la línea en caso de que sea preciso proceder a trabajos de reparación de las líneas.

Entre las barras colectoras a 66 KV. y la tierra, se ha intercalado bobinas de self, las que tienen la misión de desviar las cargas electroestáticas que se superponen sobre las barras colectoras, cargas que son bastante intensas en los parajes de la sierra, en que son construídas las plantas.

Figura N° 12

## PLANTA BARBERINE

## ESQUEMA DE CONEXIONES





## 2. LAS SUBESTACIONES

Hemos dicho que en las subestaciones terminan las líneas de transporte a 66 KV. y que de éstas salen las barras de alimentación de las líneas férreas.

Ahora, vamos a hacer una descripción de estos lugares de transformación.

Las subestaciones tienen la misión de transformar la energía que entra en ellas con una tensión de 66 KV. en una energía de alimentación de una tensión de 15 KV., la que es llevada a los conductores de contacto (el un borne al conductor aéreo y el otro a los rieles). Por esta razón, las subestaciones, son construídas muy cerca a los puntos de alimentación de la red de conductores de contacto. Una cantidad de subestaciones se encuentran en los puntos de cruce (nudos) de las líneas férreas; se puede constatar (figura N° 35) que la situación de las subestaciones es bien escogida, tanto desde el punto de vista de alimentación, como del de paso de las líneas de transporte. Para una gran parte de las subestaciones, hubo que resolver un verdadero problema para llenar las dos exigencias: cercanía al punto de alimentación y cercanía a la línea de transporte.

La diferencia principal que existe entre una subestación y una planta consiste en el hecho de que una planta es un lugar de producción, mientras que una subestación es solamente un lugar de transformación de energía de una característica en energía de otra característica, sin que en ningún momento la subestación produzca corriente de ninguna clase; pues, la planta es la que abastece de energía a la subestación.

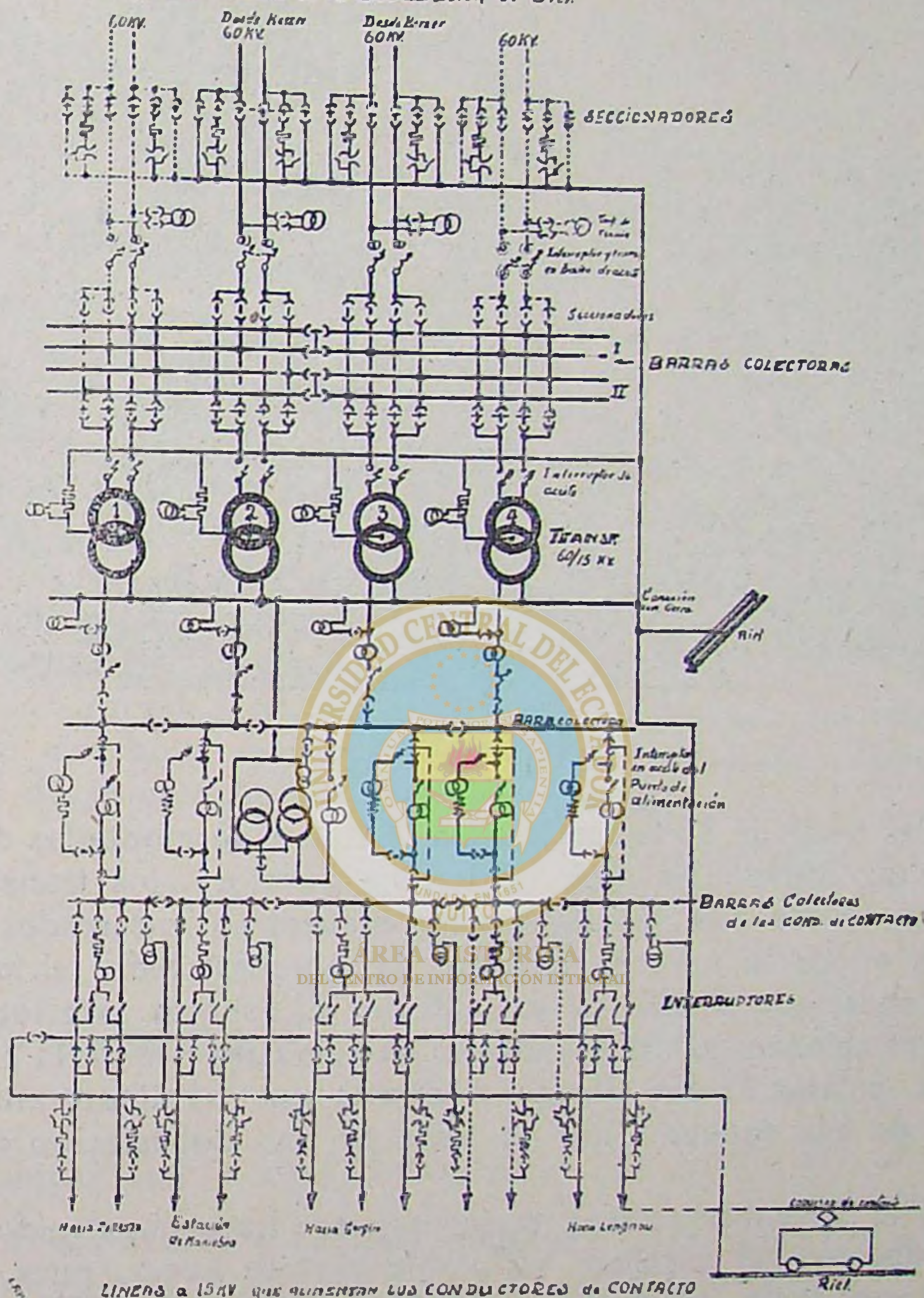
Algunas de las subestaciones son del tipo «semí-automático», esto quiere decir que una gran parte de los aparatos de comando son maniobrados automáticamente, sin que un empleado tenga que intervenir en dichas maniobras; esto significa una economía en los gastos de servicio.

La figura N°. 13, representa un esquema de principio de una de las subestaciones puestas al servicio de los ferrocarriles federales de la Suiza.



Figura N° 13

Esquema de conexiones de la Sub-Estación de Biel.



En total hay 36 subestaciones, sus esquemas de conexión son idénticos en principio, difieren solamente en ciertos detalles.

Pero, respecto a la colocación de los transformadores, puede distinguirse entre «Montaje interior», (dentro de un edificio) y «Montaje al aire libre» (los transformadores se encuentran montados a cielo abierto).



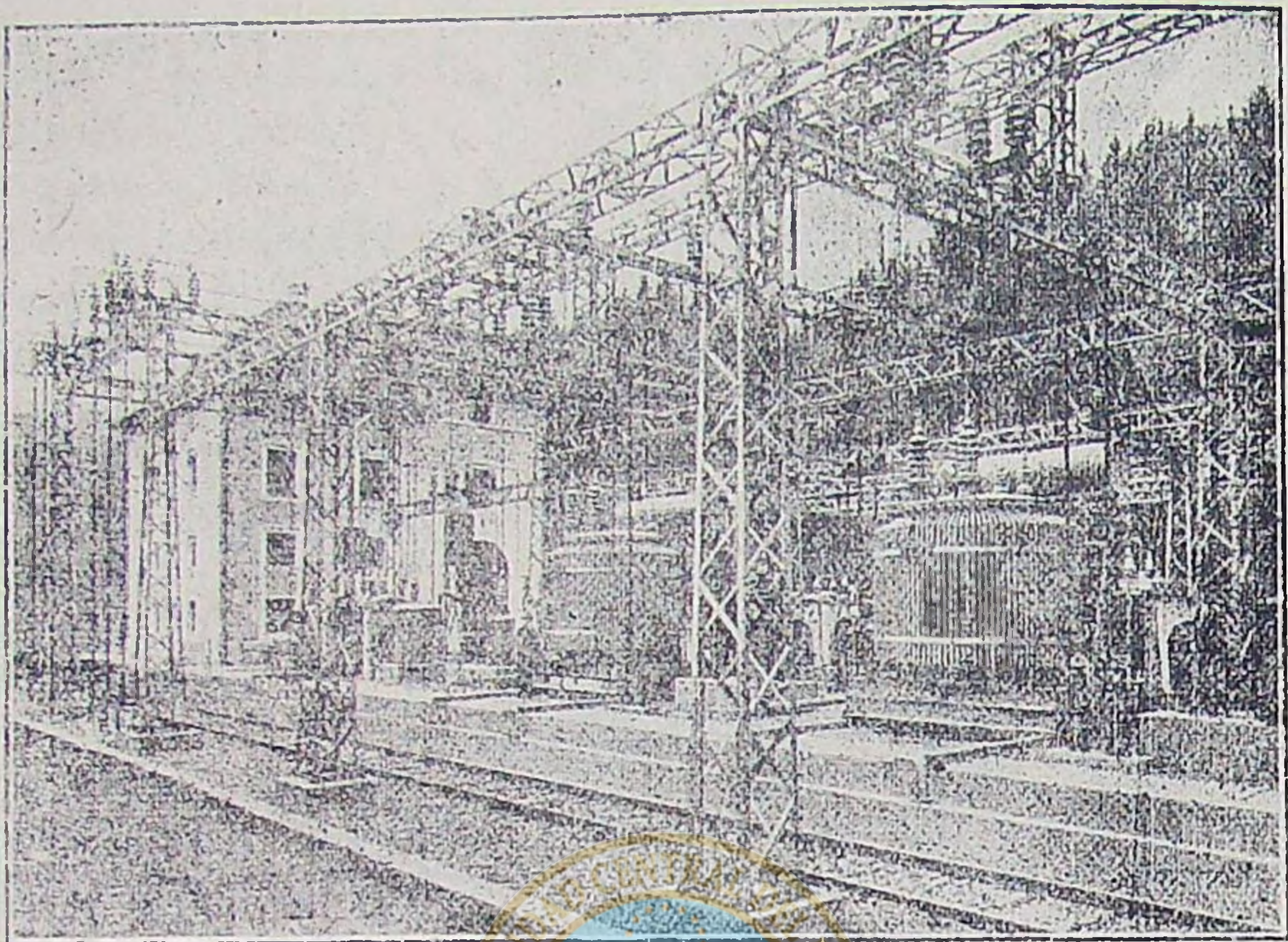


FIGURA 14

Del total de 36 subestaciones, 6 han sido montadas dentro de un edificio, es decir, «Montaje Interior», los transformadores y los demás aparatos se encuentran encerrados en celdas, o por lo menos, rodeados de tabiques; todo el conjunto encerrado dentro de un edificio. El aspecto exterior de estas estaciones, no difiere mucho de una casa ordinaria cualquiera, solamente las líneas eléctricas que terminan ahí o salen de ella prueban que se trata de una subestación eléctrica.

Las 30 subestaciones restantes, se han construido de acuerdo con el sistema «Montaje al aire libre», pues, los transformadores principales, los transformadores de medida, los interruptores, los seccionadores, las barras colectoras y los conductores de unión se han montado directamente al aire libre, y solamente la Sala de comando, el taller, la batería de acumuladores para alimentar los circuitos de comando y de señales se encuentran dentro de un pequeño edificio.

Los transformadores y aparatos son adosados sobre zócalos de betón, entre los cuales puede circular libremente un



carro sobre rieles para llevar los objetos pesados. Es natural, que los transformadores y los demás aparatos deben poseer características especiales de construcción, ya que tienen que soportar los efectos de la intemperie. En invierno, es muy extraño el aspecto de estas subestaciones, cuando se deposita una gran capa de nieve sobre los transformadores y los demás aparatos, en tal forma que todo queda cubierto, así, casi no se distingue que bajo ese manto de nieve existen aparatos que llevan tensiones muy elevadas.

Por lo expuesto se comprende que el constructor de esta clase de subestaciones, debe tener mucho cuidado en aplicar materiales de aislamiento de una rigidez dieléctrica especialmente fuerte a toda la construcción.

Las ventajas que aporta la construcción al aire libre son, pues, las siguientes: Una gran claridad en la disposición de los aparatos, costo bastante reducido, refrigeración más conveniente y más eficaz que la de los transformadores que se encuentran encerrados en celdas.

Las experiencias que se llevaron a cabo con las estaciones al aire libre, fueron las que mejores resultados dieron a partir del primer día de puestas en servicio.



### 3. LAS LINEAS DE TRANSPORTE

#### ÁREA HISTÓRICA

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Se puede distinguir entre tres clases de líneas de transporte:

Líneas aéreas a 66.000 voltios.

Líneas aéreas a 132.000 voltios.

Cables subterráneos a 66.000 voltios,



## TABLA IV

## LINEAS DE TRANSPORTE

(Ver plano al final)

CLASE DE LA LINEA	LONGITUD DE LA LINEA KM.	CONDUCTORES			LONGIT. TOTAL DE TODOS LOS CONDUCTORES KM.
		Número	Material	Sección mm <sup>2</sup>	
a. Líneas aéreas de 66 kv	60,7	2	Cobre	50 y 63	121,4
»	396,9	4	Cobre	95y100	1587,6
»	53,0	8	Cobre	95y100	424,0
»	42,	2	Cobre	150	168,0
»	23,5	4	Aldrey <sup>o</sup>	240	94,0
»	55,6	4	Aldrey	240	222,4
»	24,9	4	Fe/Al <sup>oo</sup>	60/191	149,4
	656,6	6	Fe/Al	60/191	2766,8
b. Líneas aéreas de 132 kv.	103,7	2	Fe/Al	60/191	207,4
»	6,0	2	Aldrey	240	12,0
»	126,4	4	Aldrey	240	505,6
»	31,7	4	Al.	191	126,8
	267,8				851,8
c. Cables subterráneos de 66 kv.	59,4	4	Cobre	120y135	237,6
Total de a,b,c.	983,8 km.				3856,2km.

En la tabla significan: °) El material Aldrey es aluminio endurecido, tiene la ventaja de que poseyendo el mismo peso que el aluminio, tiene una resistencia mecánica mucho mayor que el aluminio ordinario, además presenta la misma conductibilidad eléctrica que la del aluminio; debido a que es posi-



ble templar estos conductores con una flecha pequeña (aplicando un gran esfuerzo de tracción); las líneas que están equipadas con cables de Aldrey pueden llevar vanos (distancia entre postes) más grandes que las líneas equipadas con cables de cobre; se entiende que se trata de cables para la misma potencia.

De esta característica del Aldrey, se desprende que las líneas equipadas con cables de este metal son más económicas que las otras, además de tener una mayor seguridad en el servicio. (La seguridad de servicio, depende en gran parte del número de aisladores que lleva la línea).

En la tabla se ve <sup>oo</sup>) Fe/Al. es la denominación de un cable de aluminio ordinario, que está provisto de una alma de cable de acero. En vista de que el cable de aluminio tiene muy poca resistencia mecánica, el cable de acero tiene la misión de soportar los esfuerzos de tracción relativamente grandes, a los que se encuentran sujetadas las líneas aéreas.

Para soportar los cables, se han construido postes de acero en celosía de distintas formas, además, postes de tubo de acero soldado, provistos de aisladores de soporte o de aisladores colgantes (cadenas de aisladores).

Las dimensiones de los vanos difieren bastante entre ellos; hay vanos que miden 80 metros y otros hasta 450 metros. Las líneas equipadas con cables de Aldrey miden por lo general 235 m., medida que corresponde al vano económico (para este vano, los gastos de servicio anuales son un minimum).

Todas las líneas de transporte, son provistas de un cable de tierra; esto es con fines de seguridad, tanto de índole mecánica, como de índole eléctrica.

Los postes son puestos a la tierra en una forma completamente segura, con el fin de evitar tensiones eléctricas peligrosas en el caso de rotura de los aisladores.

Al efectuar el trazado de las líneas, se ha evitado en lo posible hacer pasar éstas por la cercanía de poblaciones o el cruzamiento con bosques.

Como se dijo anteriormente, la elección de cables subterráneos para unir las plantas Ritom y Amsteg, fué inevitable, por cuanto estas plantas se encuentran situadas a los dos extremos del gran túnel de 15 km. del San Gothardo, y en vista del peligro de destrucción por las avalanchas frecuentes en esa zona, se ha alargado el cable subterráneo



hasta Giórnico, que se encuentra situado en la rampa Sur del San Gothardo.

Los cables que se han utilizado para esta travesía, son a un solo conductor, no llevando sino revestimiento de plomo, careciendo de una capa de cinta de acero o de alambre, solamente un revestimiento de yute impregnado protege al manto de plomo, (espesor del manto de plomo igual a 3 mm. espesor de la capa de papel aislante e impregnado 12 mm.)

Los cuatro cables que son tendidos, forman dos circuitos diferentes, y son acondicionados en canales de cemento que siguen a la línea férrea a todo el largo, tanto dentro del túnel como fuera de él, los canales van tapados con lozas de piedra artificial; en el interior del túnel, los canales de cemento son adosados a las paredes y soportados por pilastras, que van a una cierta altura sobre el suelo.

#### 4. LOS CONDUCTORES DE CONTACTO

Los conductores de contacto sirven para llevar la energía (a 15.000 V.) desde los puntos de alimentación (subestaciones) hasta las locomotoras; estos son unipolares y van conectados a uno de los polos del arrollamiento de los transformadores que se encuentran en las subestaciones (al arrollamiento de 15.000 V.)

El otro polo del arrollamiento de los transformadores está conectado con los rieles del ferrocarril. (A fin de disminuir la resistencia óhmica de los rieles, se conecta estos entre sí, por medio de trozos cortos de cable desnudo de cobre, cuyos extremos son remachados fuertemente contra unos zapatos de metal especial, los que a su vez son soldados eléctricamente contra los extremos consecutivos de los rieles, además, los dos rieles de la vía, son conectados entre sí por conexiones transversales, las que se encuentran a ciertos trechos).

El conductor de contacto, los dos rieles conectados en paralelo y la locomotora forman así un circuito cerrado que es alimentado por los transformadores de la subestación. De esta conexión resulta que los conductores de contacto y todos los accesorios que fueren unidos galvánicamente con éstos, llevan la plena tensión de 15.000 V. contra la tierra



y contra todas las construcciones que hacen contacto con ella (postes, traviesas, etc.) Por esto, la rotura de un aislador de la instalación de 15.000 V. o la caída del conductor de contacto p. ej. significa un cortocircuito directo con una tensión de 15.000 V.

Todas las vías de los ferrocarriles tienen su perfil prescrito, el cual no puede ser sobrepasado ni por la locomotora ni por los vagones del tren. Claro está que el conductor de contacto no entra dentro de los límites de este perfil, por que el pantógrafo de tomacorriente (figura N° 15) necesita de un cierto espacio para poder extenderse y hacer presión contra el conductor de contacto.

Además, el pantógrafo mismo, debe sobrepasar la altura del conductor de contacto cuando este falta.

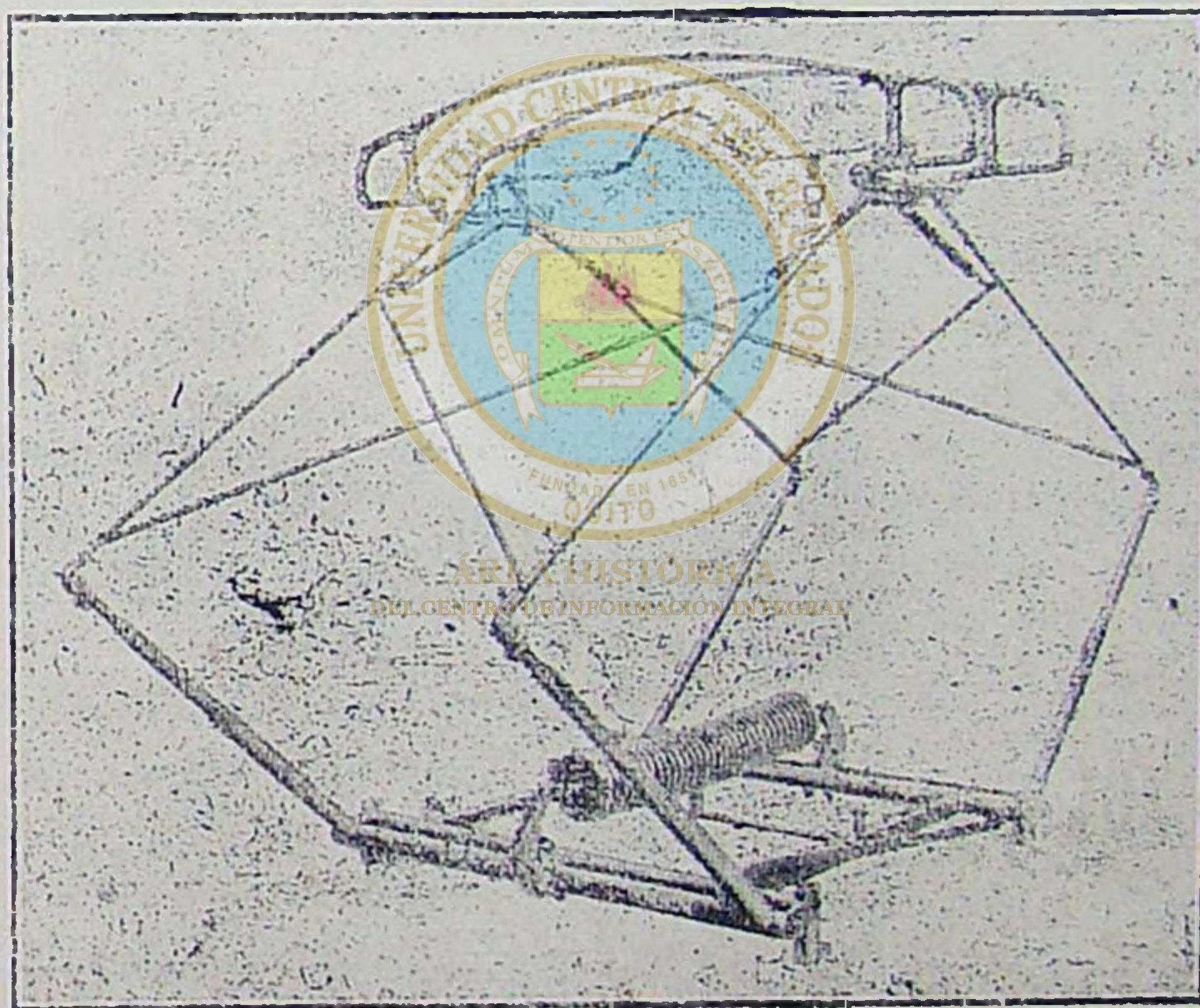


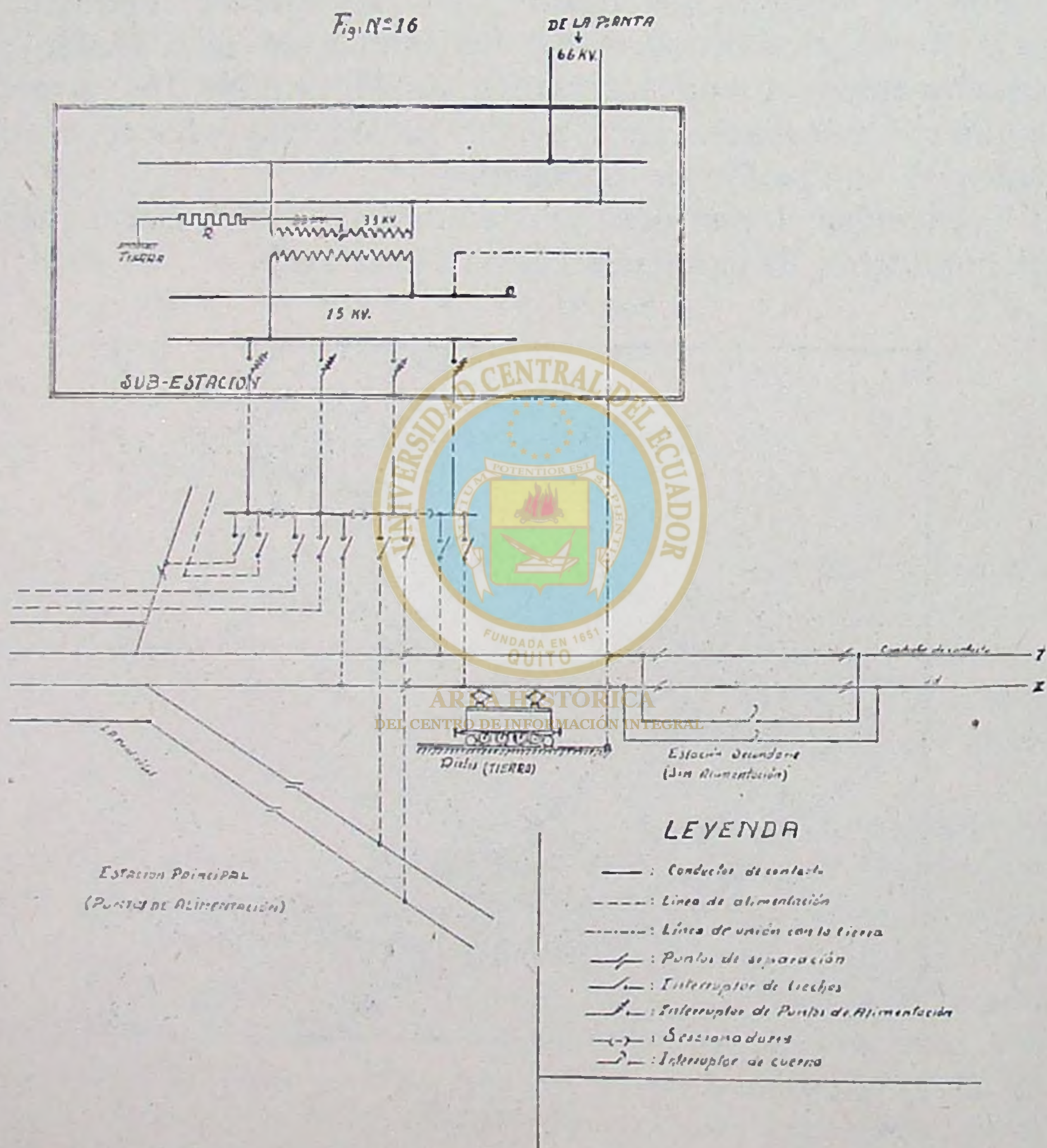
FIGURA 15

La red de los conductores de contacto, en comparación con una línea de transporte, es mucho más complicada, puesto que la primera se encuentra sujeta a varias causas de perturbaciones, y además, la citada red, no es una red continuada, considerada bajo el punto de vista eléctrico, como lo son las líneas de transporte, sino que los conductores de



contacto son subdivididos eléctricamente en varios trechos parciales.

Para conseguir esta subdivisión, se ha dejado libre un espacio corto entre los trechos vecinos de los conductores de contacto. Claro está, que cada trecho debe poseer su punto de alimentación. La figura N°. 16, demuestra en principio el esquema según el que se realiza la alimentación de un trecho.



El esquema abarca además, en pocos rasgos, la disposición de la subestación.

Se puede ver que el punto medio de los transformadores (lado 66 KV.) está puesto a la tierra a través de la resistencia R.; uno de los polos del lado 15 KV. del arrollamiento del transformador es unido con los rieles, mientras el otro polo alimenta los conductores de contacto.

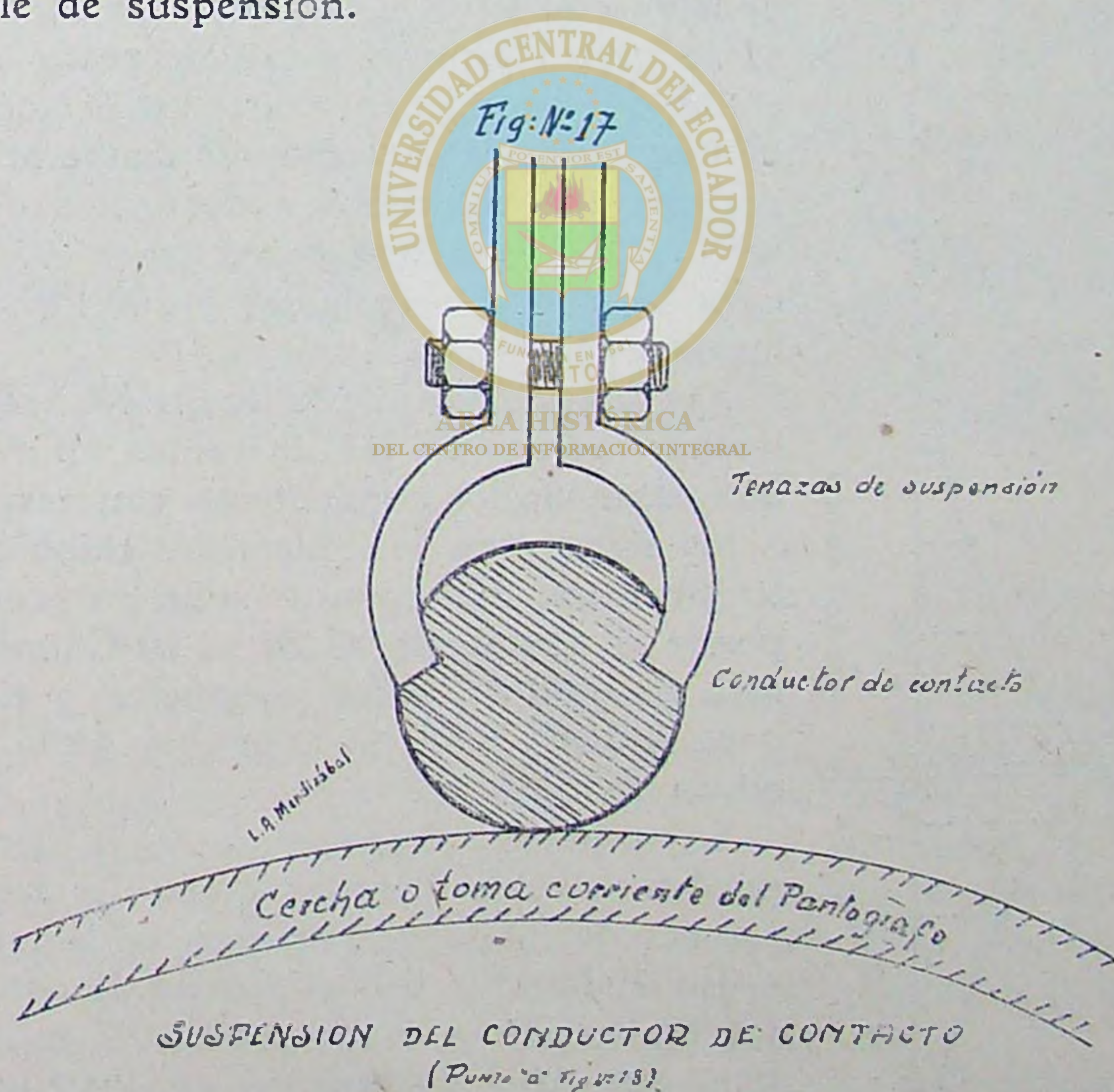


La estación secundaria que se encuentra indicada, no representa un punto de alimentación; los interruptores de cuerno que se ven, permiten acoplar los dos puntos de alimentación consecutivos en el caso en que la alimentación de uno de estos puntos por cualquiera razón llegara a fallar.

Las estaciones de transformación, recientemente construidas, se encuentran provistas de dispositivos semiautomáticos, para determinar el lugar en que se está produciendo una perturbación de la red de los conductores de contacto.

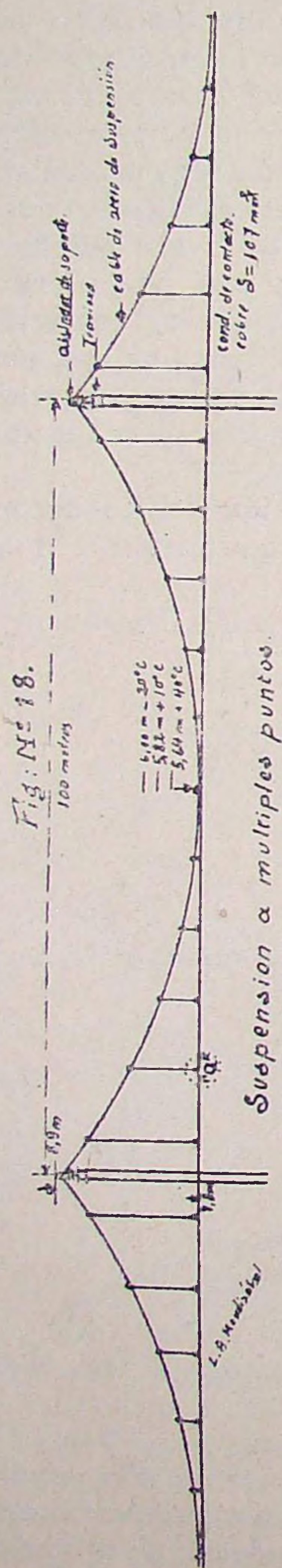
Todos los conductores de contacto tienen una sección redonda de  $107 \text{ mm}^2$ , provistas de dos entalladuras laterales que sirven para acoplar la tenaza que sujeta al conductor contra el cable de suspensión.

La figura N° 17, demuestra la sección del conductor de contacto unido a la tenaza o garra que lo une con el cable de suspensión.



Todos los conductores de contacto son montados según el sistema «A. múltiples puntos de suspensión», lo quiere decir, que el cable de soporte se une con el conductor de contacto





en varios puntos dentro de un vano. El cable de suspensión consiste en hilos de acero cableados.

La figura N° 18, representa el sistema de suspensión de los conductores de contacto. El cable de suspensión de acero, va montado sobre aisladores de soporte que están fijados a las traviesas de los postes.

El vano o distancia entre postes mide 100 metros para una parte de los ferrocarriles, y, 60 metros para otra parte.

El cable de suspensión se encuentra también bajo la plena tensión.

A más de los múltiples puntos de suspensión que lleva el conductor de contacto, es necesario proveer a éste de pesos especiales que mantienen constante la tensión de tracción para las distintas temperaturas, los que son colocados a distancias de m. o m. 1.200 m.; estos pesos tienen 600 kg. para las líneas principales y 300 kg. para las otras líneas.

Las indicaciones de la figura N°. 18 nos ilustran acerca de las diferentes alturas a que alcanzan los conductores con respecto a los rieles, con los diferentes cambios de temperatura. El punto superior corresponde a temperaturas de  $-20^\circ\text{C}$  una altura de 6,00 m. entre conductor y rieles, para  $+10^\circ\text{C}$  5,82 m., y para  $+40^\circ\text{C}$ . una altura de 5,64 m.

La primera temperatura y la tercera pueden ser consideradas como las temperaturas de límite que ocurren en Suiza.

En el interior de los túneles el conductor es llevado a una altura de 0,7 m. más bajo que en el exterior, y, en los lugares de cruzamiento con caminos a una altura de 0,3 m. más alto que en general. (Inútil sería decir que la escala que hemos utilizado en la fig. 18 para las medidas longitudi-



nales no es la misma como para las verticales). La figura N°. 19, es una vista de un cruce de líneas y conductores de contacto, en ella se puede apreciar la forma como están montados los cables de suspensión, traviesas y conductor de contacto.

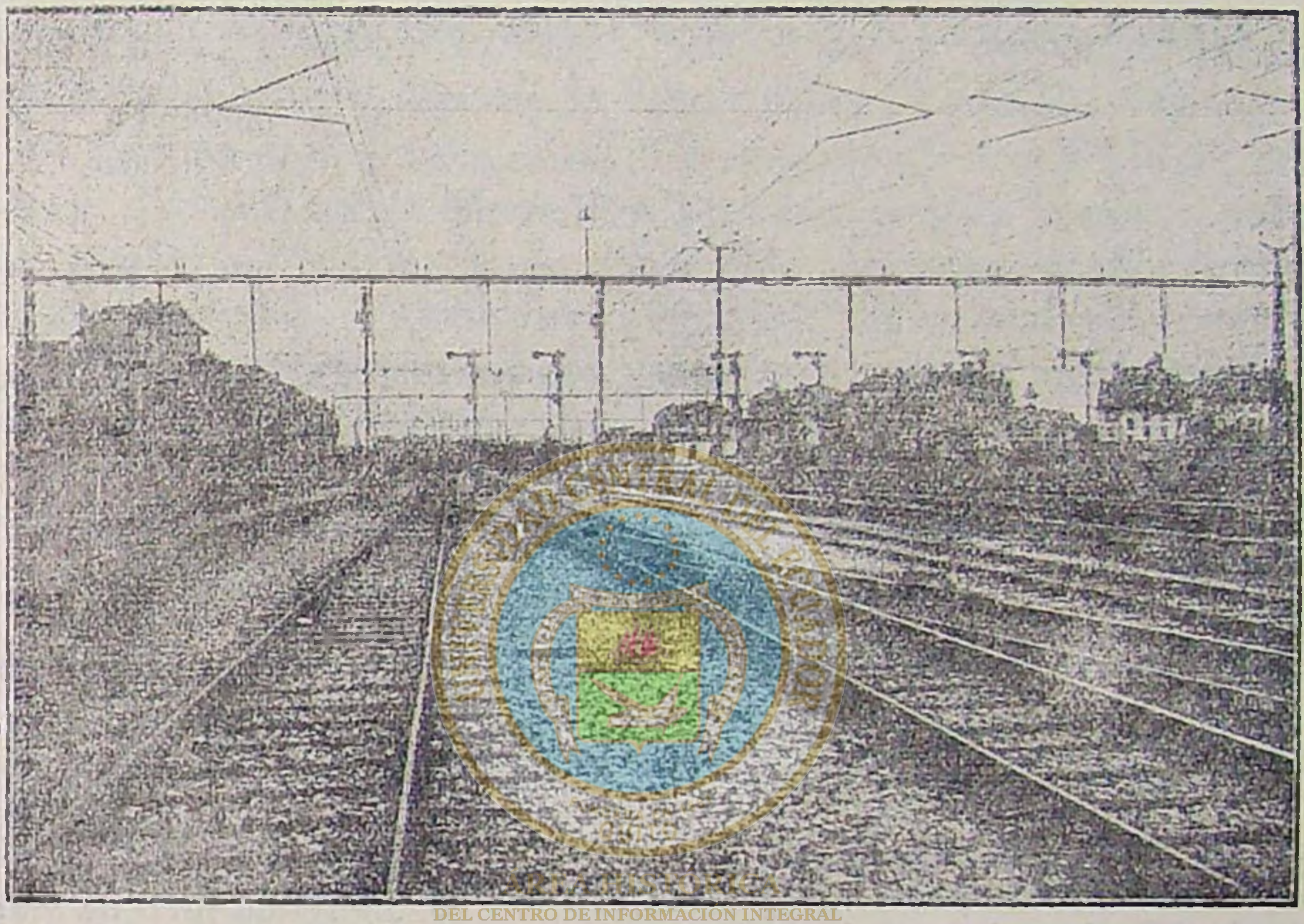


FIGURA 19

La presión que ejerce el pantógrafo contra el conductor de contacto es de 3.4 a 4,6 kg.

Las cerchas de rozamiento del pantógrafo consisten en una aleación de aluminio, y pueden ser recambiadas con mucha facilidad. A fin de impedir que en las cerchas de contacto se produzcan desgastes desiguales, o la formación de una ranura por efecto del rozamiento contra el conductor de contacto, los conductores tienen una desviación de 20 centímetros en su eje longitudinal, formando un zigzag; la cercha de rozamiento tiene una longitud utilizable de 40 cm.

El recambio de cerchas de rozamiento debe efectuarse después de un recorrido medio de 2.500 km, y de un máximo de 13.000 km.

La tabla V ilustra sobre la longitud de los conductores de contacto (que son idénticas a las longitudes de las vías).



Como puede observarse, la longitud de los conductores que atraviesan túneles representan un 9,6% de la longitud total de los conductores (sin contar con la longitud de los conductores tendidos en las estaciones). Los conductores de contacto que atraviesan el gran túnel del San Gothardo (entre Erstfeld y Biasco) tienen una longitud de 30.448 km. o sea un 27,5% de la longitud total de los conductores tendidos en todos los túneles recorridos por ferrocarriles eléctricos federales.

TABLA V

LONGITUD DE LOS CONDUCTORES DE CONTACTO AL FINALIZAR EL AÑO DE 1928.

(Las longitudes de los conductores de contacto son idénticas a las longitudes de las vías)

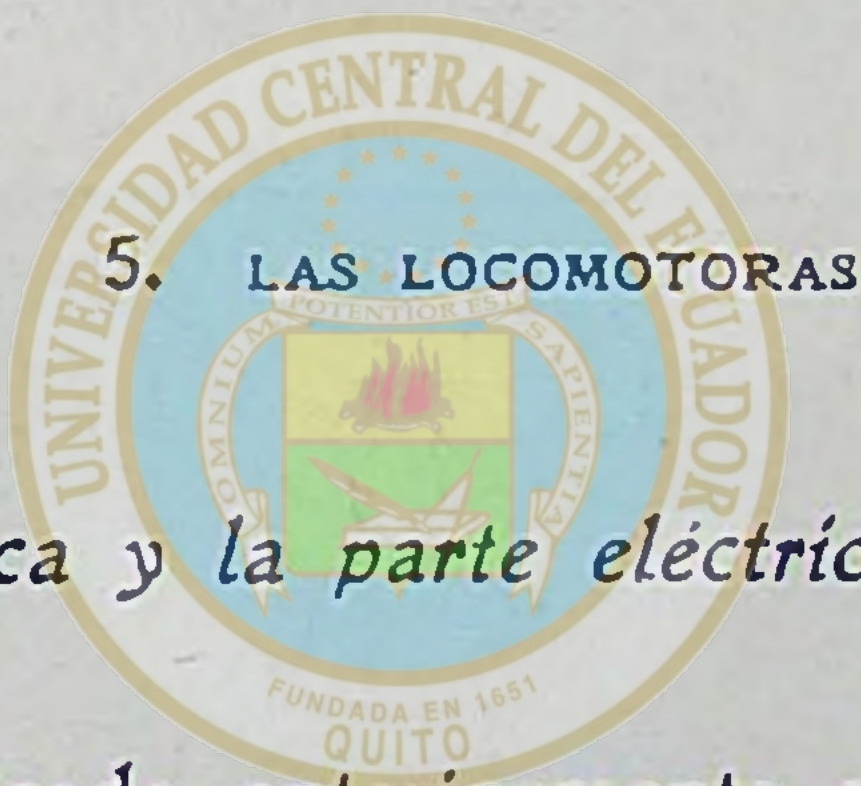
TRECHOS	KILOMETROS DE VÍAS ELECTRIFICADAS	OBSERVACIONES
a) Tramos de vías sencillas sin túneles .....	542,578	$a + b + c = 1'869.827 \text{ Km.}$ = Longitud total de vías electrificadas. (Sin contar las vías colocadas en las estaciones). c) en % de $(a + b + c) = 9,6\%$ d) en % de e = 50,0%.
b) Tramos de vía doble sin túneles .....	1.148,571	
c) Túneles .....	178,678	
d) Estaciones .....	1.893,524	
e) Total de a, b, c, d...	3.763,351 Km.	

Especial atención había que prestar a la protección de las personas que transitan por los terrenos de los ferrocarriles electrificados, así como también a los pasajeros y obreros de los mismos, puesto que se había aplicado una tensión de servicio de 15.000 voltios. En caso de una avería en la instalación, el peligro de muerte es grande para todas las personas que llegaran a tocar los sitios de la instalación que se encuentran en mal estado. Especialmente representa un gran peligro la caída de un conductor de contacto, o la rotura de un aislador, puesto que entre el conductor y las partes de la construcción metálica y la tierra existe la plena tensión de 15.000 voltios; un desperfecto en la puesta a tierra



de las partes metálicas, representa un verdadero peligro de muerte. Por esto, para eliminar este grave peligro, todas las construcciones metálicas que llevan conductores, o las que se encuentran en la proximidad de ellos, como los postes, el barandillaje de los puentes y sus partes metálicas, las escaleras de los edificios cercanos a la vía férrea, etc. son conectados directamente con los rieles mediante alambre de cobre de 6 mm. de diámetro, cuyos extremos se han soldado con las construcciones metálicas respectivas y con los rieles.

Las partes metálicas de los vagones y coches del ferrocarril electrificado, tales como paredes, techos y pisos, sobre los cuales podría caer un conductor, son conectados galvánicamente con el armazón o chasis, con lo cual se consigue que la tensión peligrosa sea desviada a través del chasis y los ejes a los rieles.



a) *La característica y la parte eléctrica de las locomotoras*

Habíamos indicado anteriormente que el motor monofásico de repulsión no era el que mejores resultados había dado en la tracción eléctrica, sino que más bien el motor monofásico de serie es el que llena más ampliamente las exigencias de este servicio.

Se expuso asimismo, que se había adoptado la frecuencia de  $16 \frac{2}{3}$  de ciclos por segundo, a fin de no tropezar con dificultades en la conmutación.

En el motor de serie, el arrollamiento de excitación, el de compensación, (estos dos arrollamientos son decalados entre sí de  $90^\circ$  eléctricos y son colocados en el estator) y el rotor son conectados en serie. El arrollamiento de compensación tiene la misión de paralizar el campo magnético perjudicial del rotor.

En principio, el rotor tiene igual construcción que el de una máquina a corriente continua. En la figura N°. 20, se puede apreciar uno de los motores monofásicos de serie que se usan en los ferrocarriles eléctricos federales.



El motor monofásico de serie, tiene las ventajas valiosas que enumeramos a continuación y que le han dado la preferencia en la tracción eléctrica:

a) El momento de arranque que desarrolla el motor es grande. El momento, es el producto del campo magnético de excitación por la corriente del rotor; dado que el campo magnético es m. o. m. proporcional a la corriente que recorre el arrollamiento de excitación; el momento es m. o m. proporcional al cuadrado de la corriente que recorre el motor.

Cuando arranca el tren, el maquinista aplica a los motores una corriente fuerte, de esto sigue, que el momento giratorio del motor es muy grande, (para el motor en derivación, el campo magnético de excitación es constante, y no depende de la corriente que absorbe el motor, por lo que el momento es débil.)

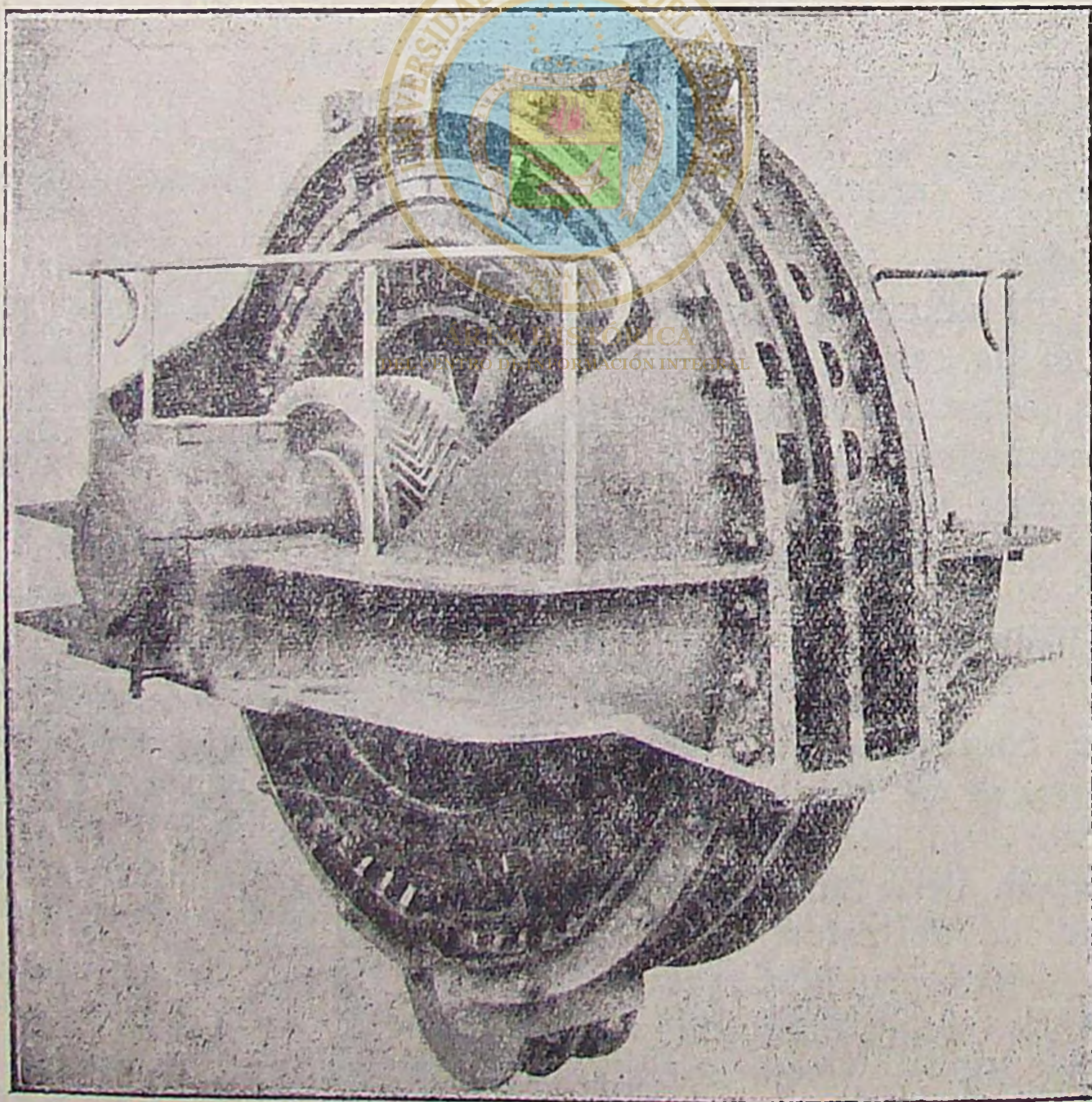


FIGURA 20



b) El motor de serie disminuye su velocidad cuando aumenta el momento, pues, cuando el tren toma una pendiente de subida, disminuye su velocidad; esto significa una ventaja grande, porque si consideramos que el tren atraviesa una llanura, desarrollando sus motores la plena potencia y velocidad, y luego toma una pendiente, en el caso en que el tren siguiera con la misma velocidad tanto en la rampa como en la llanura, el motor tendría que desarrollar una potencia que sobrepasaría en mucho a su potencia nominal, como consecuencia, absorbería una corriente demasiado potente, lo que ocasionaría caídas fuertes de tensión en los conductores de contacto.

Además, la planta alimentadora, mejor dicho, la subestación, tendría que suministrar grandes porciones de energía, para lo cual no se encuentra equipada.

La relación entre la potencia desarrollada por el motor, su momento giratorio y su velocidad, siguen la ecuación que está a continuación:

$$HP = M \cdot \omega$$

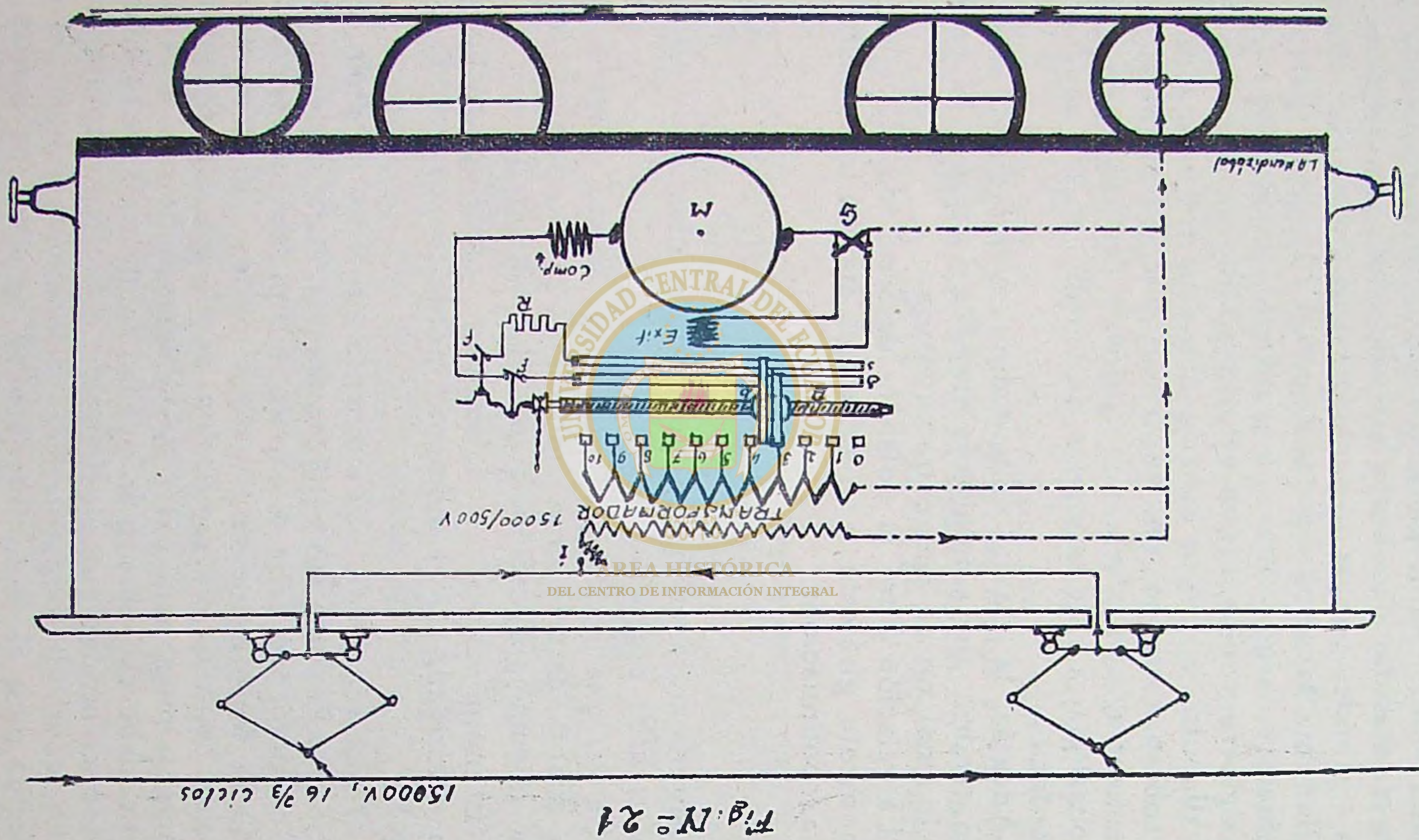
Significando en la ecuación:  $M$ : momento;  $\omega$ : velocidad angular;  $HP$ : potencia.

Se ve, que en caso en que la velocidad quedaría constante, cuando crece el momento, la potencia aumenta también en la misma proporción como el momento  $M$ .

(El motor en derivación, mantiene constante prácticamente su velocidad, así el momento mecánico sea grande o pequeño).

c) La regulación del momento giratorio, es decir, de la velocidad, se realiza sin pérdidas de energía. También, como para el motor de serie a corriente continua, se regula cambiando la tensión que es llevada al motor. Para el motor a corriente continua, la regulación se efectúa con pérdidas de la energía, pues, una parte de la energía llevada a la locomotora, debe ser absorbida por las resistencias de regulación que son colocadas antes del motor a corriente continua; en cambio, como dijimos antes, la variación de la tensión que se efectúa para el motor monofásico de serie, se realiza sin pérdidas absolutas de energía. Esto se debe a la utilización de corriente alterna, que da facilidad de convertir a voluntad, energía de una tensión en energía de cualquiera otra tensión,







solamente con el uso de transformadores equipados con varias tomas de corriente.

La figura N<sup>o</sup>. 21, nos demuestra el sistema de regulación de un motor de locomotora eléctrica.

SIGNIFICADO DE LAS EXPRESIONES DE LA FIGURA 21

- M: Motor.
- Exc.: Arrollamiento de excitación.
- Comp.: Arrollamiento de compensación.
- .—.—: Uniones con el chasis.
- I: Interruptor principal.
- B: Cursor principal.
- b : Cursor auxiliar.
- F, f: Interruptores de apagar chispas.
- R: Resistencia auxiliar.
- S, s: Barras de deslizamiento.
- G: Conmutador del sentido de marcha.
- 1,2,3, etc: Tomas de corriente efectuadas en el arrollamiento secundario del transformador.

Como se ve, a fin de poder variar la tensión, el arrollamiento secundario del transformador que está colocado en la locomotora, está provisto de un número de tomas de corriente; un cursor, (graduador de tensión) sirve para tomar a voluntad la tensión necesaria. En la posición indicada en la figura, el motor recibe una tensión moderada, pasando el cursor a las tomas 4, 5, 6 o más, el motor recibirá una tensión mayor. Con el fin de impedir que se produzcan chispas entre el graduador y los topes de toma en el momento de cambiar de contactos, éste lleva una combinación de dos cursores (B y b), dos «interruptores de apagar chispas» y una resistencia auxiliar R. Los interruptores son alternativamente cerrados y abiertos cuando los cursores pasan de un contacto a otro. Con este dispositivo se alcanza que todas las chispas de interrupción se produzcan en estos interruptores y nunca entre los cursores y los contactos.

Las piezas de contacto de los «interruptores de apagar chispas» son intercambiables, de modo que las chispas que se producen entre estos interruptores especiales no significan ningún inconveniente, mientras que si se produjeran entre los cursores y los contactos, serían perjudiciales.



Gracias a la presencia de la resistencia auxiliar R, no es posible que entre dos contactos vecinos se produzca un cortocircuito directo, ya que éste se paraliza en la resistencia.

El sincronismo de movimiento entre los cursores y los interruptores F y f está garantizado porque los movimientos son simultáneos, gracias a que ambos sistemas se encuentran sincronizados y acoplados al mismo eje, roscado para los contactos y en forma de excéntrico para los interruptores.

El transformador que se encuentra colocado en la locomotora, reduce la tensión de 15.000 V. que el pantógrafo recibe del conductor de contacto a una tensión de 500 voltios. (Tensión máxima que da el arrollamiento secundario de dicho transformador).

El borne del transformador (lado primario) que está opuesto al que viene del conductor de contacto, está *conectado con el chasis*, así como también *el polo correspondiente* del arrollamiento secundario. También el polo correspondiente del motor es unido directamente al chasis.

Pues la corriente que entra por el pantógrafo en el transformador, después de haber recorrido el arrollamiento primario de éste, pasa al chasis, de éste al eje de las ruedas, de ahí a las ruedas mismas y luego a los rieles, para por medio de ellos regresar a la subestación o sea a la fuente de alimentación.

Un conmutador (G), permite cruzar el arrollamiento de excitación del motor, con lo que se consigue un cambio en el sentido de marcha de la locomotora.

En el esquema se ha indicado solamente 10 tomas de corriente, pero en realidad, las locomotoras poseen 21, de manera que el maquinista puede escoger entre 21 distintas tensiones, pudiendo en consecuencia graduar a voluntad el momento giratorio (fuerza de tracción) durante el periodo de arranque, y la velocidad durante la marcha del tren. Todo este proceso, sin pérdida absoluta de energía.

La calefacción del tren, es alimentada también por el lado secundario del transformador, así como también los servicios de alumbrado, de ventilación para la refrigeración de los motores de accionamiento, a más de la producción de aire comprimido para el frenaje, y alimentación de los circuitos de gobierno a distancia. El poco espacio de estas páginas, no nos permite entrar a detallar el sinnúmero de dispositivos ingeniosos de que disponen las locomotoras eléctricas.



Tampoco podemos explicar detenidamente la conexión especial denominada «Conexión de recuperación» que permite recuperar una parte de la energía cinética acumulada en el tren cuando éste desciende una rampa de gradiente fuerte.

Es necesario dar una explicación de lo que significa para una locomotora eléctrica su «Potencia».

Para los motores de tracción, la definición de potencia difiere un tanto de la definición de potencia para un motor estacionario.

Para el motor de tracción, hay que distinguir entre tres clases de potencias:

«Potencia de duración», «potencia-Hora» (quiere decir potencia durante una hora entera) y «potencia — punto» (potencia durante pocos minutos). Estas tres potencias se basan sobre las temperaturas admisibles que pueden adquirir las distintas partes del motor.

Generalmente, el motor de tracción está caracterizado por la «Potencia-hora (HP) a una distinta velocidad (v)». La división de la primera cifra por la segunda da la «fuerza (Z) de tracción-hora», (Z) se refiere a la circunferencia de la rueda motriz y sigue la relación:

$$HP = Z \frac{R \cdot \pi \cdot n}{30} = Z \cdot v; \quad Z = \frac{HP}{v}$$

en la ecuación significa:

R : el radio de la rueda motriz,

n : revoluciones por minuto de la rueda motriz.

v : velocidad del tren (igual a la velocidad circunferencial de la rueda motriz).

Durante el servicio, ocurren en pequeños lapsos, potencias y fuerzas de tracción considerablemente mayores que las que corresponden a la Potencia-Hora, por esto, el constructor indica a más de la «Potencia-Hora» la «Potencia-Punto».

Al arrancar, por ejemplo, la fuerza de tracción alcanza valores de hasta el doble de la «fuerza de tracción-hora».

El arte o pericia del motorista consiste en llevar el tren de modo que las temperaturas de los motores de su locomotora queden dentro de los límites admisibles. Pues, como se sabe, el calentamiento de un motor es el que determina la duración o límite de vida de éste.



Una característica, a más de las ya conocidas en la locomotora eléctrica, es la siguiente: cuando a una locomotora de vapor se la sobrecarga, ésta no responde, es decir, se para; no así una locomotora eléctrica, pues ésta, fácilmente desarrolla el momento que se pide de ella, lo único es que, si se le pide un momento demasiado exagerado, el motor se quema. (La locomotora eléctrica es comparable a un caballo de pura raza que, por complacer a su amo, entrega el máximo de sus fuerzas, aún a costa de la vida).

Esta característica del motor de tracción, o sea la disposición de desarrollar cualquiera potencia pedida, es la razón por la que el motorista tiene que examinar muy bien y frecuentemente durante el viaje el grado de temperatura de los motores.

Es interesante constatar que las mayores potencias no ocurren cuando se pide al tren su mayor velocidad en la llanura (90 — 100 km/h), sino en las velocidades medias (65 — 75 km/h) en gradiente de 10 — 12 ‰.

A continuación indicamos el texto de la licitación para el pedido de algunas locomotoras eléctricas, este texto nos orientará sobre la capacidad que se pide de ellas:

Una locomotora para trenes de carga: 2 viajes de ida y vuelta entre Arth-Goldau-Chiasso, dentro de 28 horas; carga útil a mover sobre las rampas fuertes (10 — 27 ‰) = 430 toneladas, sobre los demás trechos (0 — 10 ‰) = 860 toneladas, velocidad máxima = 65 km/hora.

Una locomotora: cuatro viajes de ida y vuelta entre Basel — Olten — Berna (hasta 10,5 ‰ de gradiente) dentro de 22 horas, carga útil a mover: para el viaje de subida = 1.400 toneladas; para el viaje en sentido opuesto = 700 toneladas, velocidad máxima = 65 km/hora.

Una locomotora: tres viajes de ida y vuelta entre Zurich — St. Gallen, carga útil a mover (gradiente hasta de 12 ‰) = 480 toneladas, velocidad máxima = 90 km/hora.

La «potencia-Hora» de los cuatro motores de la locomotora tipo Ae  $\frac{1}{7}$  es de 2.840 HP, a una velocidad de 65 km/h. Cuando la locomotora mueve un tren de 450 toneladas sobre una gradiente de 3 ‰ a una velocidad de 100 km/h. los cuatro motores desarrollan 1.800 HP.

Como se ha indicado, el criterio para saber si la locomotora ha llenado sus garantías es el resultado de la medición



de sus distintas temperaturas, efectuada en el momento en que el tren ha terminado su viaje prescrito.

Para cada línea y para cada tipo de locomotora, está prescrito el peso máximo admisible del tren a mover.

Una idea de lo dicho nos da la tabla N°. VI.

## TABLA VI

EL PESO MAXIMO ADMISIBLE DEL TREN PUEDE CONSTAR:

TRECHO A RECORRER	TIPO AE $\frac{1}{7}$	TIPO AE $\frac{3}{6}$
Lausanne-Vallorbe	410 t.	300 t.
Lausanne-Berna	435 t.	335 t.
Basel-Olten	650 t.	480 t.
Basel Zürich	560 t.	420 t.
Zürich-Winterthur	600 t.	450 t.

La existencia total de locomotoras de que disponían los ferrocarriles federales de la Suiza al finalizar el año de 1928 se encuentra en la tabla VII.

## TABLA N°. VII

ÁREA HISTÓRICA

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

EXISTENCIA DE LOCOMOTORAS AL FINALIZAR EL AÑO DE 1928

CLASE DE LOCOMOTORAS	NUMERO
Locomotoras para trenes rápidos .....	254
Locomotoras para trenes ordinarios de pasajeros .....	50
Locomotoras para trenes de carga .....	55
Locomotoras para maniobras .....	26
Coches auto-motores .....	56
Total de locomotoras para corriente monofásica a 15.000 voltios y $16\frac{2}{3}$ de frecuencia .....	441
Locomotoras para trenes rápidos (Simplón) alimentados por corriente trifásica °) de 3.300 voltios y $16\frac{2}{3}$ de frecuencia .....	7
Locomotoras para maniobras, equipadas con acumuladores .....	16
TOTAL .....	464

°) De esta locomotora se habló en capítulo anterior.



Se ha expuesto que la calefacción de los trenes se efectúa eléctricamente y que la energía respectiva (en su máximo 400 KW.) se saca del transformador colocado en la locomotora. Para evitar que ésta tenga que estar acoplada al tren largo rato antes de la hora de salida, por sólo razones de calefacción, se dispone en las estaciones principales de unos «Vagones de Calefacción», los que antes de la salida del tren, calientan los vagones; ya calentados éstos, la locomotora puede ser acoplada.

Los vagones de calefacción pueden ser considerados como ambulantes, ellos llevan un «transformador de calefacción», el que es alimentado por el conductor de contacto y que da la energía necesaria para calentar los trenes en las estaciones respectivas.

Un aspecto que no debe ser desatendido, es el que exponemos a continuación: Una locomotora a vapor, necesita por lo menos de dos hombres para su vigilancia, un maquinista principal y un auxiliar, una locomotora eléctrica, por el contrario, no requiere absolutamente de dos hombres, siempre que la cabina de ésta disponga de ciertos dispositivos de seguridad. Uno de los dispositivos funciona como sigue: La manivela de control está provista de un contacto que debe ser apoyado continuamente por el maquinista, para que sea posible efectuar todas las demás maniobras de comando, en el momento en que el maquinista suelta dicho contacto, (por ej. por causa de un desayuno), el freno de seguridad del tren entra en función y el tren se para automáticamente.

#### *b) La parte mecánica de las locomotoras.*

El acoplamiento del motor con los ejes de accionamiento, puede ser dividido en dos distintas clases:

Acoplamiento por bielas y

Acoplamiento individual (o directo).

Antes de explicar estos dos sistemas de acoplamiento, debemos indicar que el primero de los nombrados se aplica en los ferrocarriles federales para trenes que marchan con velocidades moderadas, tales como los trenes de carga y locomotoras de maniobra, mientras que el segundo acoplamiento se usa para velocidades grandes (locomotoras de trenes expresos).



## EL ACOPLAMIENTO POR BIELAS

La figura N<sup>o</sup>. 22, representa un acoplamiento de esta clase, había sido aplicado a una de las primeras locomotoras eléctricas; como se puede ver, es de lo más sencillo este acoplamiento. Un solo motor de grandes dimensiones acciona mediante un acoplamiento de barra o biela vertical un árbol cigüeñal (a) que es montado en el chasis de la locomotora, y el movimiento es transmitido por bielas horizontales a las ruedas motrices. Las dos cigüeñas del árbol cigüeñal son deca-  
lados entre sí de 90°.

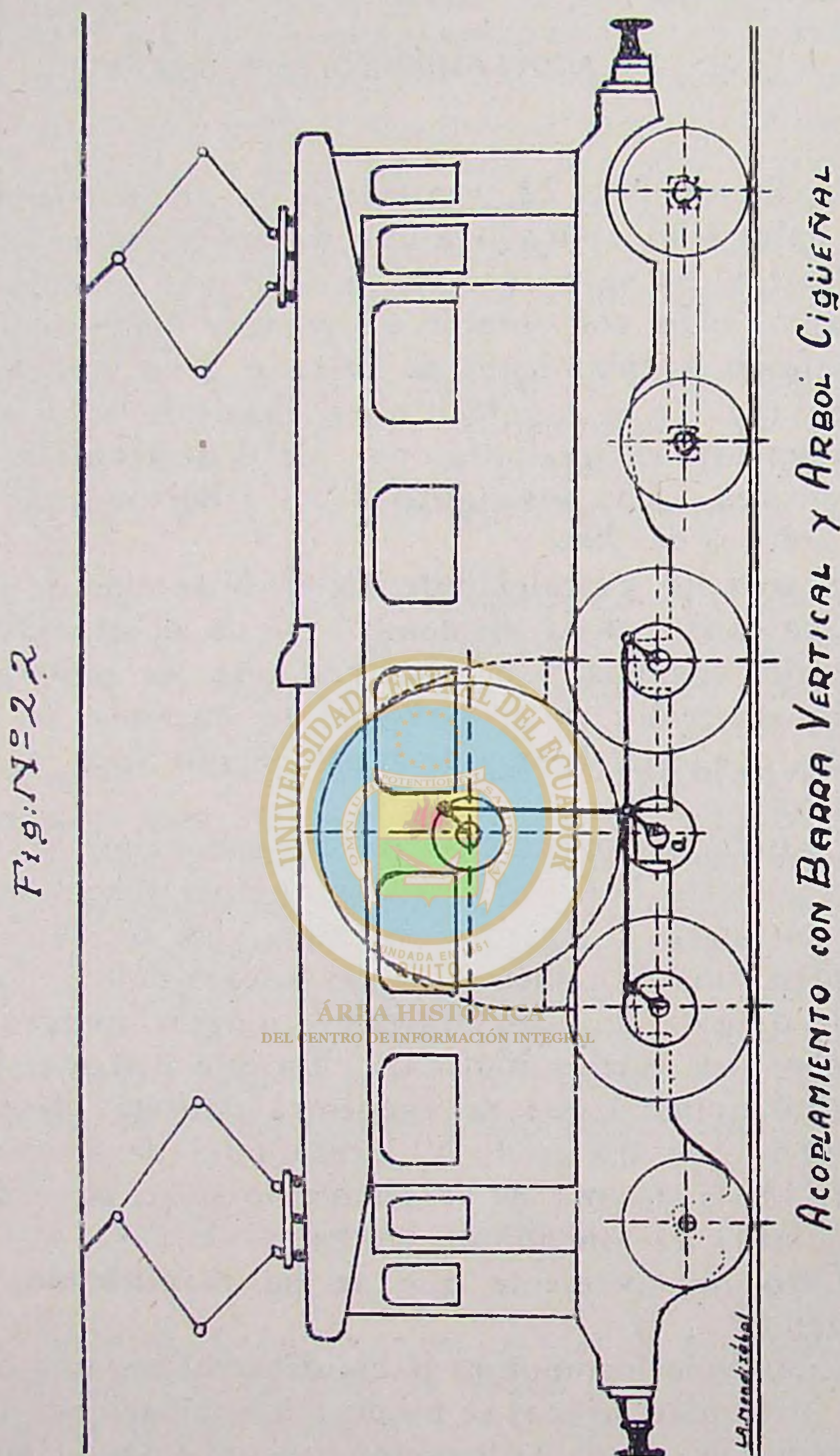
El suscrito, en calidad de jefe de la sección de ensayos de una casa constructora alemana, tuvo la oportunidad de efectuar varios ensayos y pruebas con una locomotora de la citada construcción; en el curso de los ensayos, se ha podido advertir, que este sistema de acoplamiento tiene la desventaja siguiente:

Cuando una de las cigüeñas del árbol cigüeñal se encuentra en posición horizontal, encontrándose dispuesta a transmitir su fuerza tangencial máxima, las bielas horizontales coinciden con las cigüeñas de las ruedas motrices, no siendo posible de esta manera transmitir ningún momento giratorio sobre las ruedas motrices. En este instante, la cigüeña del árbol cigüeñal que se encuentra opuesta (desplazada de 90°) tiene que transmitir la fuerza total desarrollada por el motor. Este sistema de acoplamiento sufre, pues, de una asimetría en la transmisión de fuerza.

Otro inconveniente que se ha manifestado, es el siguiente:

Cuando la locomotora había desarrollado una cierta velocidad (velocidad crítica) se produjeron trepidaciones fuertes que se transmitían a toda la locomotora; aumentando aún más la velocidad estas trepidaciones se amortiguaban hasta que desaparecían; en cuanto se comenzaba a retardar el movimiento regresaban las trepidaciones; esto dió por conclusión, que el sistema tenía su velocidad crítica, que era acompañada de trepidaciones. Cuál era la razón de este fenómeno? Se encontró que la masa del rotor y las bielas de acoplamiento (que tienen una cierta elasticidad) formaban un sistema oscilante inclinado a producir oscilaciones cuando la frecuencia





propia de este sistema oscilante, coincide con la frecuencia con que se mueve el acoplamiento.

En los cojinetes del árbol cigüeñal y de las bielas, existen ciertos juegos de deslizamiento; en cuanto llega el estado de esta coincidencia, los ejes chocan contra sus respectivos cojinetes, produciéndose las mencionadas trepidaciones.



Estas trepidaciones, o mejor dicho oscilaciones, producen esfuerzos adicionales enormes en los elementos de acoplamiento, que aún pueden producir la rotura de las bielas.

Una comprobación de lo expuesto es que, las trepidaciones habían disminuido en cuanto se hubo disminuido el espacio de juego entre ejes y cojinetes, además, los ángulos del eje cigüeñal se realizaron exactamente, y la longitud de los brazos de biela fueron trabajados matemáticamente iguales en su longitud, con estos requisitos, se consiguió disminuir las trepidaciones.

Los inconvenientes indicados, tienen un minimum, cuando los brazos de bielas tienen una posición inclinada con respecto al eje vertical, y es aún más reducido al efecto de las perturbaciones, cuando la locomotora se encuentra equipada con dos motores de accionamiento (figura N°. 23).

La figura N°. 24, demuestra una locomotora en la que los dos motores trabajan sobre una rueda dentada, este sistema lleva la ventaja de que los motores pueden ser escogidos con una mayor velocidad que los para el sistema que describimos anteriormente, así, los motores pueden ser también más pequeños, y disponer en el interior de la locomotora de mayor espacio.

Sin embargo de los inconvenientes que mencionamos anteriormente, los constructores de locomotoras, siguen fabricando locomotoras con acoplamiento con bielas, esto nos demuestra que se ha alcanzado un perfeccionamiento en el ramo de la técnica mecánica, pues, como dijimos anteriormente, los ferrocarriles federales utilizan para los trenes de velocidades medianas, esta clase de locomotoras.

Existe un gran número de soluciones con respecto al acoplamiento con bielas, pero nos limitamos, por ser un capítulo demasiado largo el explicar.

#### EL ACOPLAMIENTO INDIVIDUAL

Está indicado que los ferrocarriles federales utilizan esta clase de acoplamiento para sus locomotoras a gran velocidad (locomotoras para trenes expresos).

Este accionamiento no requiere transmisiones por bielas, sino que el motor está acoplado directamente con las ruedas motrices mediante ruedas dentadas o engranajes.



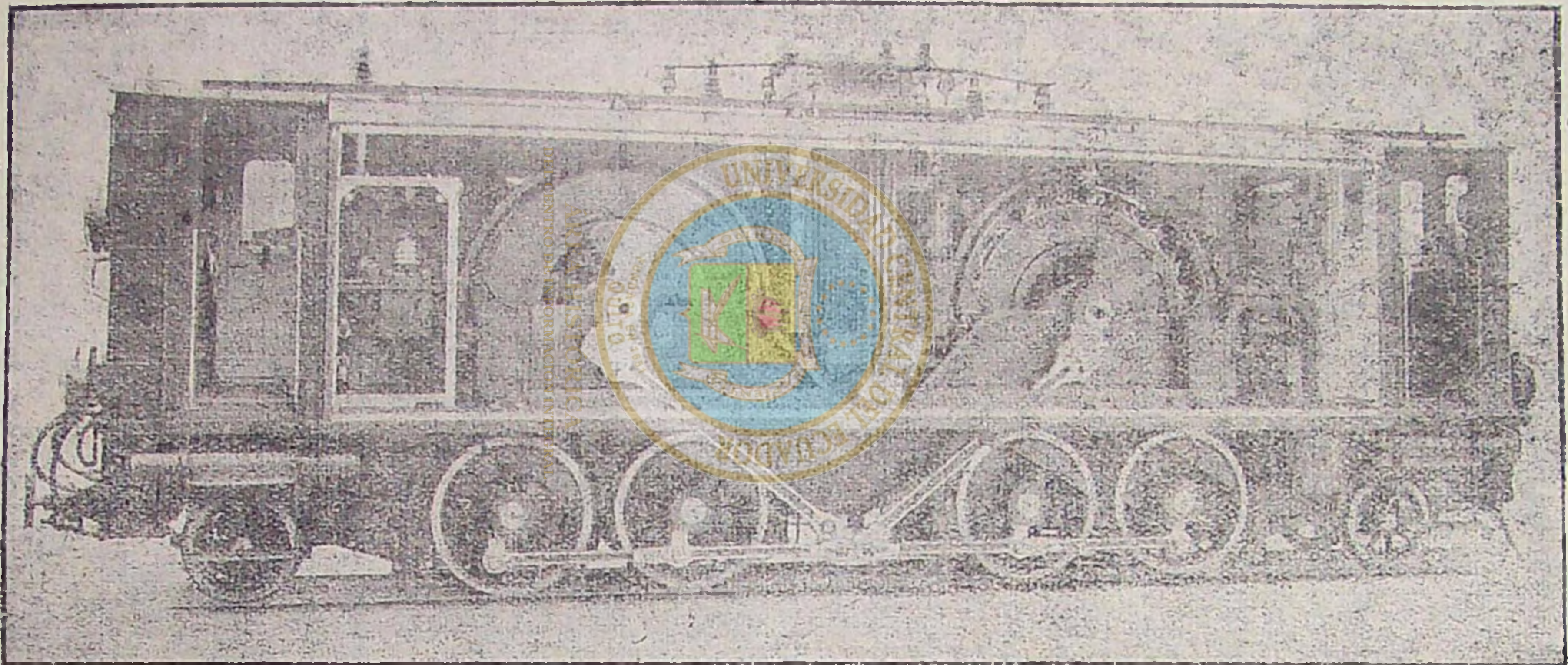


FIGURA 23



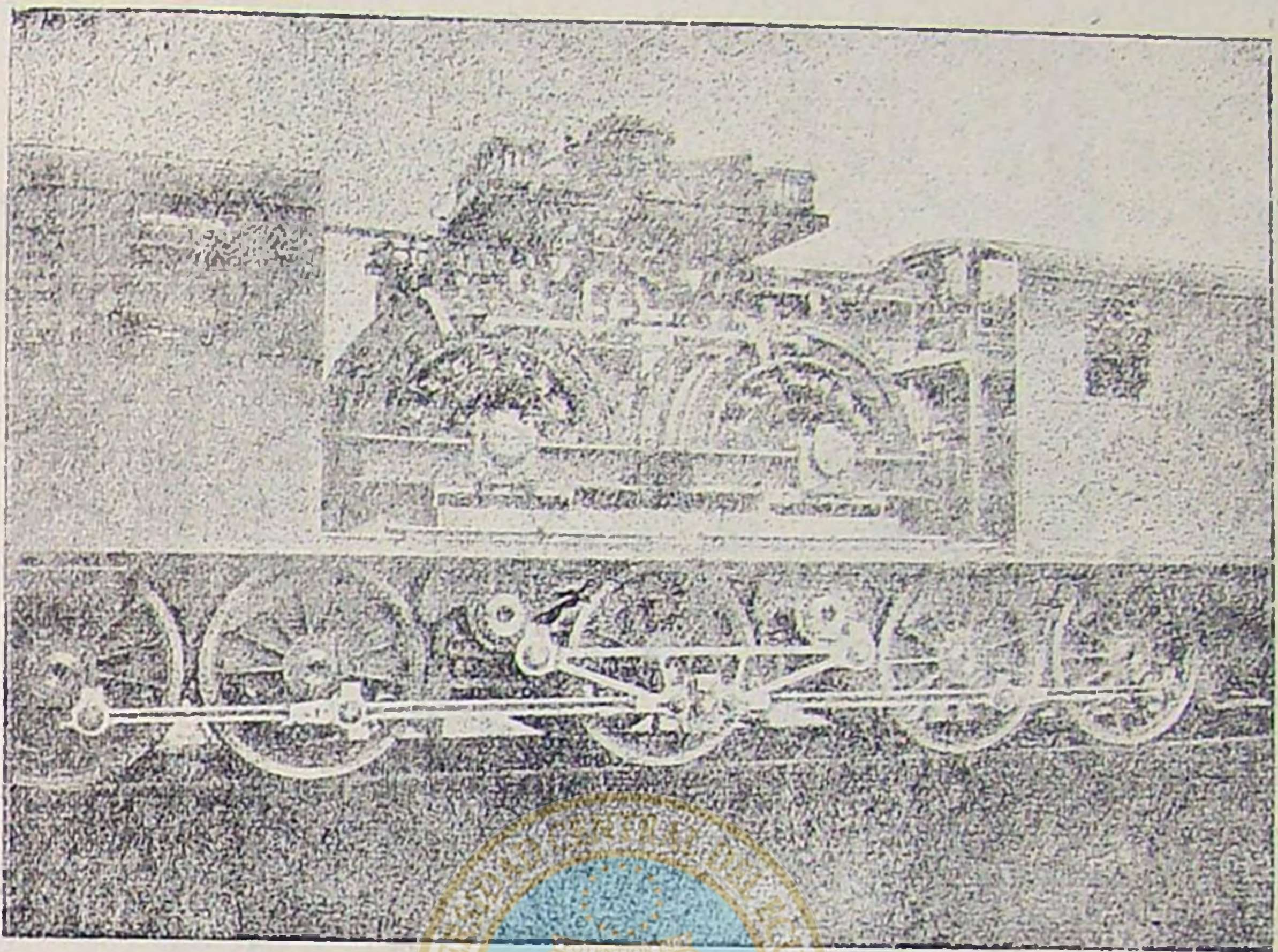


FIGURA 24

Los primeros ensayos con esta clase de locomotoras no daban resultados satisfactorios, pero después de que se hubo intercalado entre el motor y la rueda motriz un sistema de resortaje, los resultados fueron excelentes. La fotografía N°. 25 demuestra el sistema de resortaje mencionado.

Como podemos ver en la figura Núm. 25, el motor de accionamiento transmite su energía a una rueda dentada grande. Tanto el motor como la rueda dentada están montados sobre un árbol hueco, el cual rodea al eje de la rueda motriz, de manera que entre el árbol hueco y el eje de la rueda motriz queda un espacio suficientemente grande para que haya juego entre las dos partes citadas. El conjunto: rueda dentada, eje hueco y motor, está fijado al chasis de la locomotora. Ahora bien, la rueda dentada grande, no está acoplada directamente a la rueda motriz, sino que intervienen en el acoplamiento una serie de resortes de amortiguamiento que son colocados entre los radios de la rueda motriz (en la fotografía, el número de resortes es seis). Pues el motor ejerce su fuerza sobre los resortes, los que transmiten a su vez la fuerza a la rueda motriz.



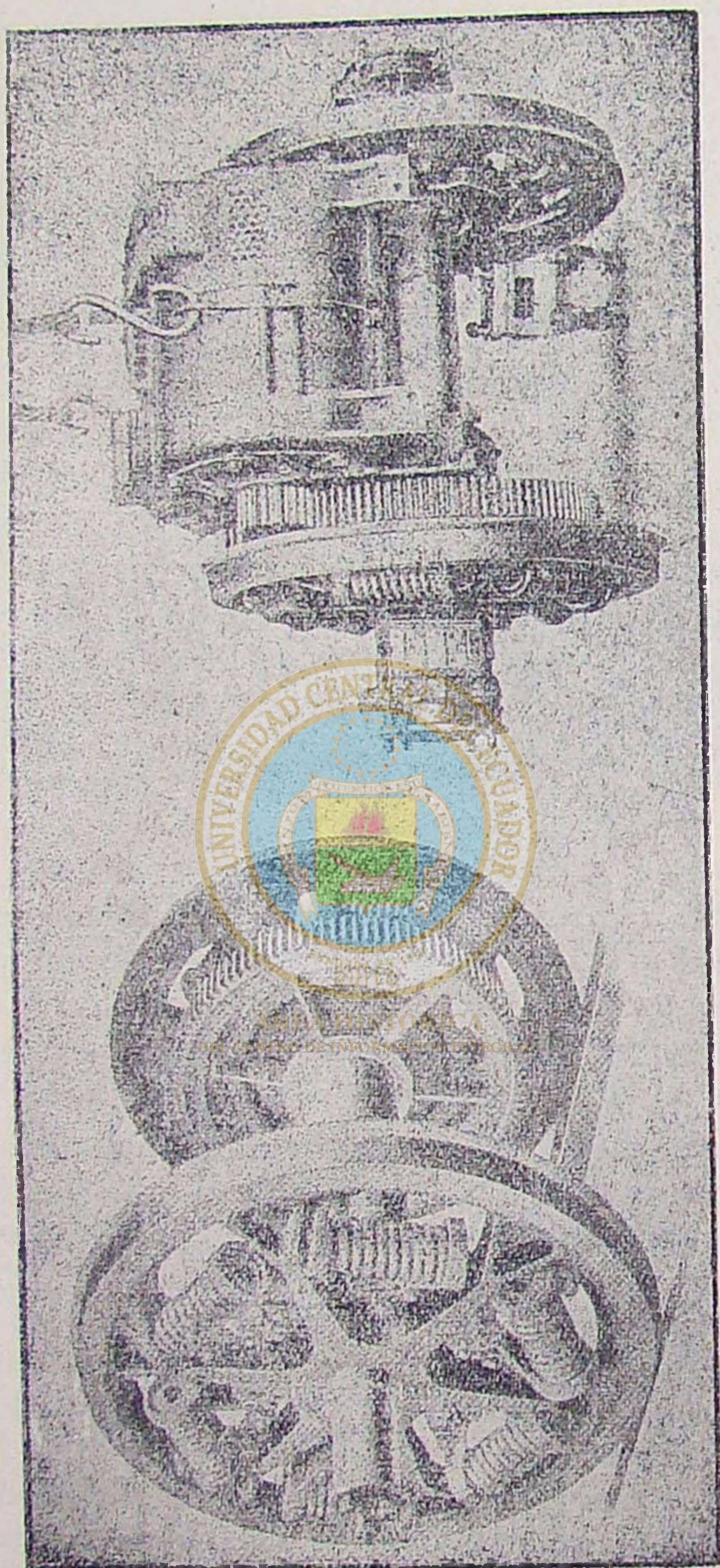


FIGURA 25

Este acoplamiento tiene la ventaja de que, cuando el motorista arranca los motores, o cuando cambia de velocidad, los choques producidos por estas maniobras son amortiguados por los resortes, no pasando el efecto de los choques provenientes del motor directamente a la rueda motriz; con



esto se alcanza que el movimiento del tren no sea perturbado ni por trepidaciones ni choques.

No solamente la rueda motriz está provista de resortes, sino que también el piñón dentado está provisto de tales resortes, esto es para eliminar totalmente los efectos de las trepidaciones.

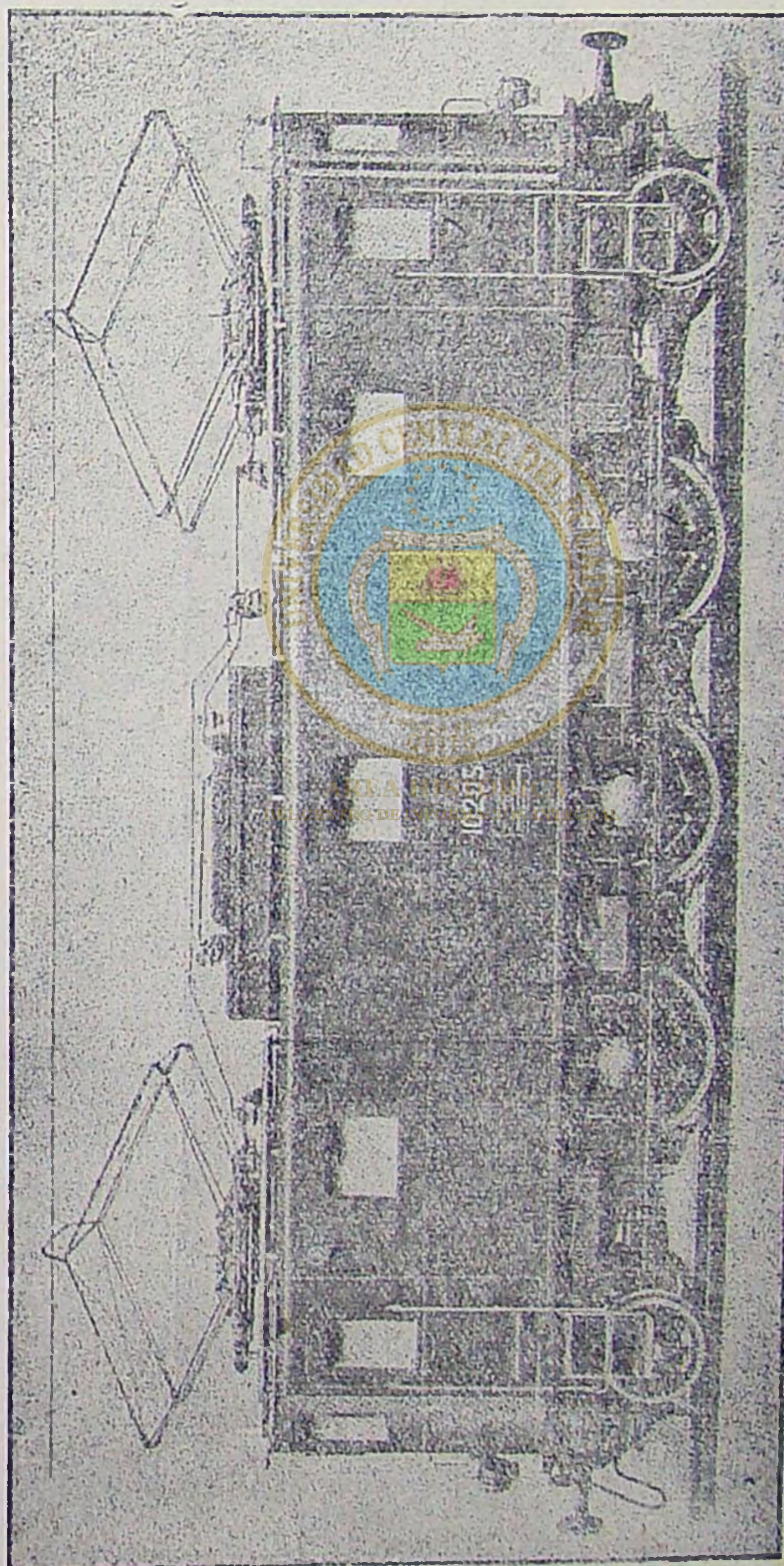


FIGURA 26



El juego entre el árbol hueco y el eje de la rueda motriz es indispensable, porque durante el viaje, la rueda dentada y el árbol hueco oscilan en sentido vertical, mientras que el eje de la rueda motriz mantiene su posición de adherencia a los rieles en forma inalterable.

Generalmente la rueda dentada grande es accionada por dos motores gemelos. En la fotografía N<sup>o</sup>. 25, se puede ver una parte del piñón del motor gemelo.

Esta construcción de accionamiento individual, fué desarrollada por la casa Westinghouse Co., accionamiento que no es utilizado solamente en Suiza, sino con preferencia en los Estados Unidos, en donde es conocido bajo la denominación «Quill Drive».

La fotografía N<sup>o</sup> 26, demuestra una locomotora equipada con el acoplamiento que hemos descrito.

Otra construcción de accionamiento individual, había desarrollado la casa Brown Boveri Co., Baden, Suiza. El eje de la rueda dentada es fijado al chasis de la locomotora y al lado exterior de la rueda motriz; su acoplamiento con la rueda motriz no es realizado por medio de resorte, sino por una combinación ingeniosa de dos palancas cuyos extremos llevan

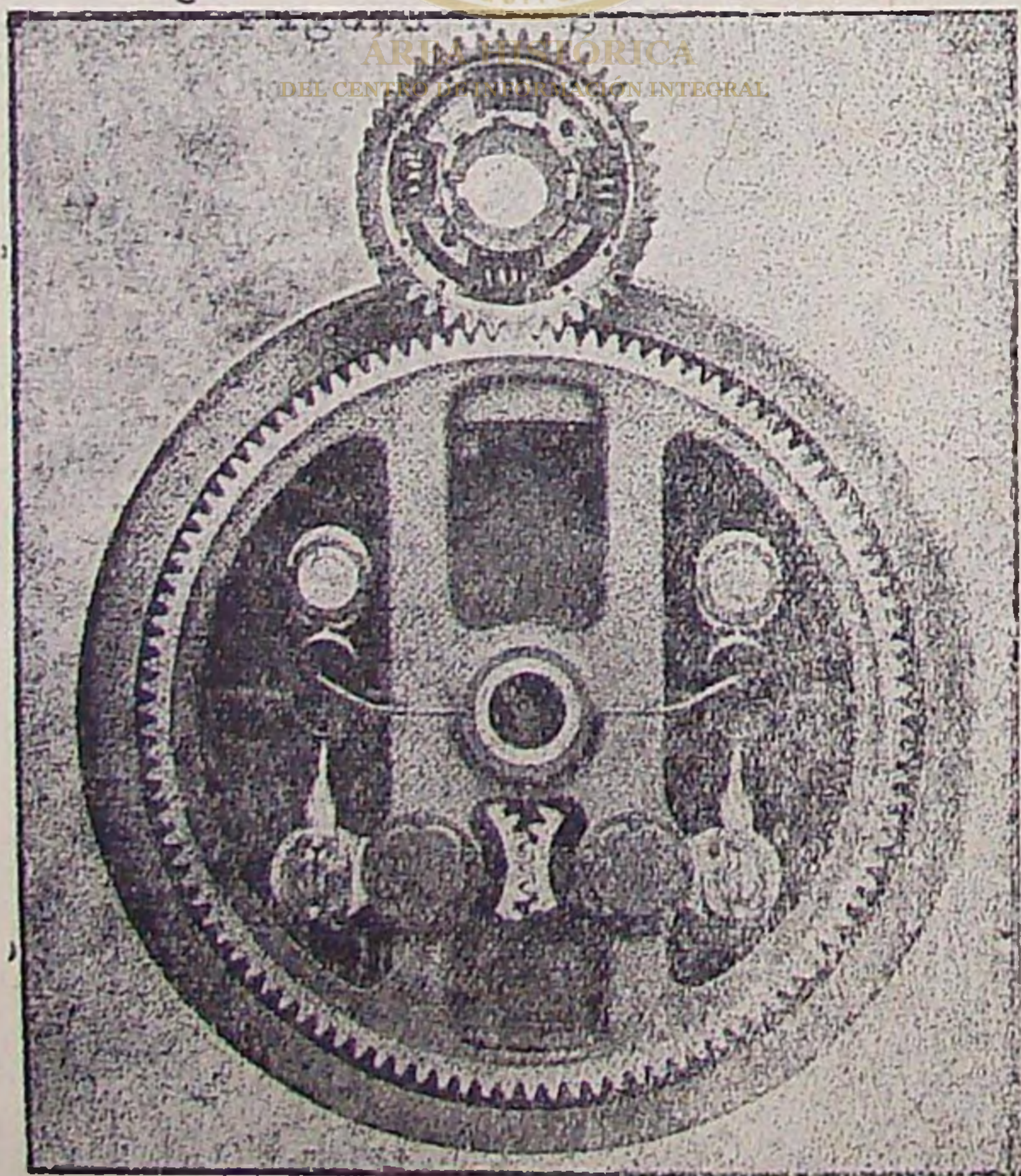


FIGURA 27



sectores cortos y endentados. La figura No. 27, que está a continuación demuestra un acoplamiento Brown Boveri Co. Baden, Suiza.

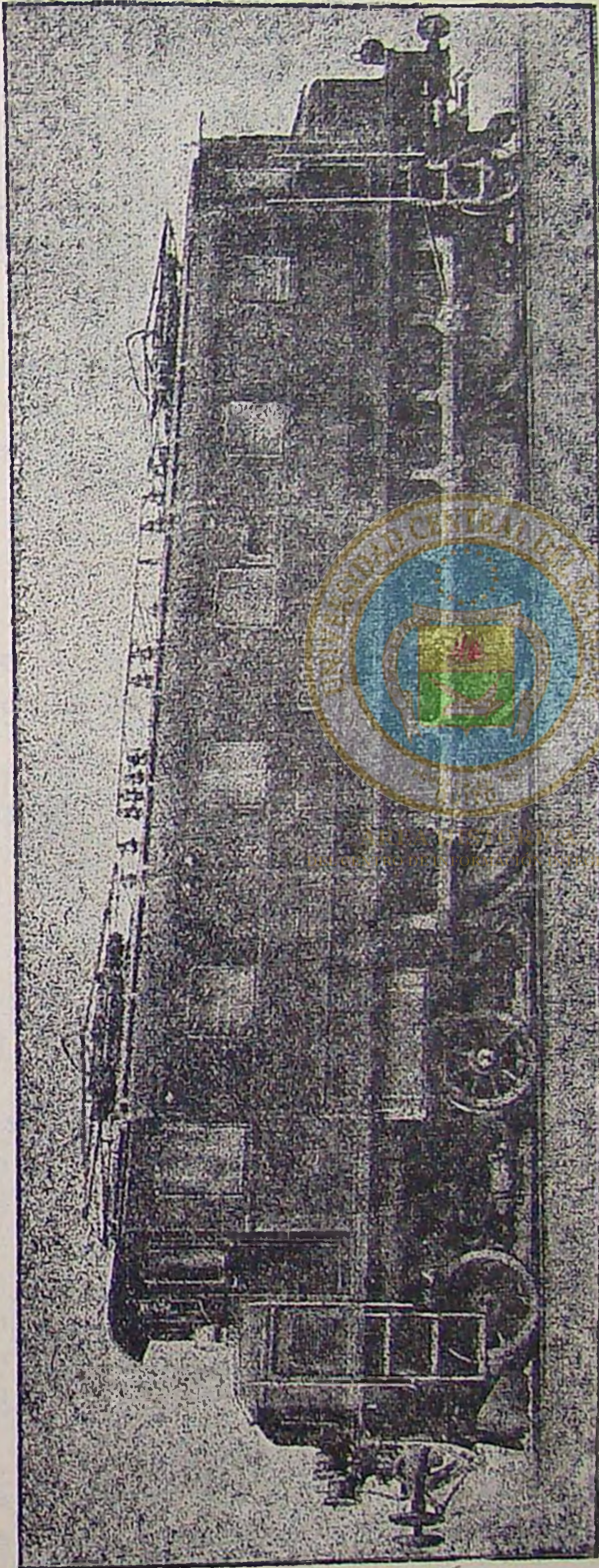


FIGURA 28

Este acoplamiento articulado posee la propiedad de que el eje de la rueda motriz puede ser dislocado en grandes proporciones en relación al chasis.

El motor está dispuesto verticalmente encima del eje de la rueda motriz y acciona a la rueda grande dentada por medio de un piñón provisto de resortes.

El hecho de que este acoplamiento permite una excentricidad considerable entre la rueda motriz y el chasis, favorece su aplicación sobre todo para las locomotoras que han de pasar por curvas cerradas, y, como Suiza es el país de las montañas y de los valles angostos, se comprende que este accionamiento es el que ha adoptado la administración de los ferrocarriles federales para sus locomotoras a gran velocidad.



La fotografía N° 28, corresponde a una locomotora equipada con un acoplamiento articulado de esta índole. Del accionamiento nombrado, se ve solamente las tapas de blindaje, bajo las cuales se encuentran las grandes ruedas dentadas. Un viajero que ve por primera vez esta clase de locomotoras, no puede concebir cómo es posible construir una locomotora en la que no se ve ni una palanca, ni un engranaje, como tampoco ningún sistema de oscilación.

Las dos clases de accionamiento individual son ventajosas desde el punto de vista de la construcción, ya que permiten al constructor elegir a su antojo la distancia entre el eje del motor y la vía, pudiendo de esta manera equipar a la locomotora de motores de grandes dimensiones. Una distancia grande entre la vía y el eje del motor es ventajosa desde el punto de vista de una marcha fuerte, lo que contribuye a una buena conservación de la vía.

### c) *La nueva locomotora del San Gothardo*

El ferrocarril de San Gothardo tiene condiciones de servicio sumamente severas, pues, existen rampas con gradientes muy fuertes y curvas extraordinariamente agudas. El gran túnel entre Göschenen y Airola es uno de los túneles más largos del mundo, tiene 15 kilómetros de longitud. Además de este túnel, tiene el San Gothardo y otros túneles en cuyo interior se han construido curvas en espiral.

Hasta hace algunos años, el servicio de tracción era bastante complicado y costoso en esta parte de los ferrocarriles, pues, los trenes de pasajeros tenían que ser arrastrados por dos locomotoras y los trenes de carga por 3 y aún por 4 locomotoras; además, en la base de las rampas de gradiente muy fuerte, había que acoplar una locomotora de auxilio que ayudaba a subir el tren, una vez llegado éste al final de la pendiente era desacoplada la locomotora de auxilio.

A fin de subsanar estos inconvenientes, la administración de este ferrocarril (que forma parte de los ferrocarriles federales de Suiza) hizo construir una locomotora, tal que ella sola es capaz de llevar tanto los trenes de pasajeros como los de carga a través de estas graves rampas.

La puesta en servicio de esta locomotora, significó una gran economía en el servicio de los ferrocarriles de esta región.



La fotografía de la figura N° 29, representa esta locomotora.

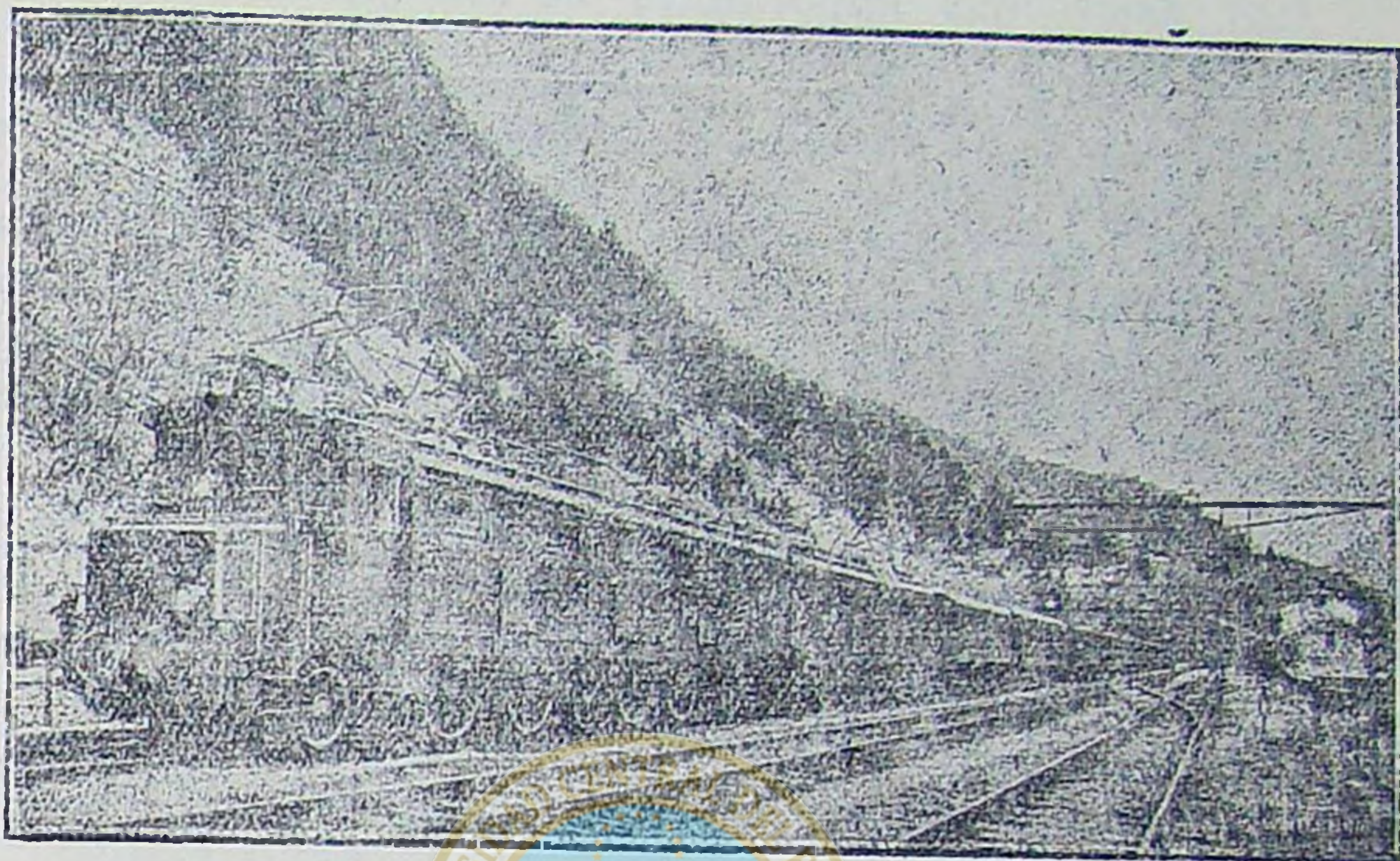


FIGURA 29

Como se ve, esta locomotora consta de dos partes iguales, unidas directamente por un «acoplamiento corto». En vista de la longitud considerable de la locomotora (32 metros), y tomando en cuenta las curvas muy cerradas de la vía, los constructores han tenido que concentrar todos sus conocimientos técnicos para dar a esta locomotora todas las condiciones de excelencia de que dispone.

La locomotora tiene 8 ejes motrices y 6 ejes de guía, que dan un total de 14 ejes. Los ejes motrices tienen acoplamiento individual. La mitad de las locomotoras suministradas para este servicio llevan el accionamiento individual según el sistema de Brown Boveri Co., Baden, Suiza, mientras la otra mitad, el accionamiento según «Quill Drive», pero con una leve modificación, que consiste en que, en lugar de llevar dos ruedas grandes dentadas, el arbor hueco, lleva solamente una rueda dentada grande en la mitad del eje motriz. Un par de motores gemelos acciona sobre esta rueda dentada.

Las figuras N° 30 y N° 31, demuestran en dos posiciones el acoplamiento que acabamos de mencionar.

Por encontrarse la rueda dentada en la mitad del eje motriz, el aspecto exterior de la locomotora es sumamente



sencillo, además de ser completamente ocultas las demás partes del acoplamiento.

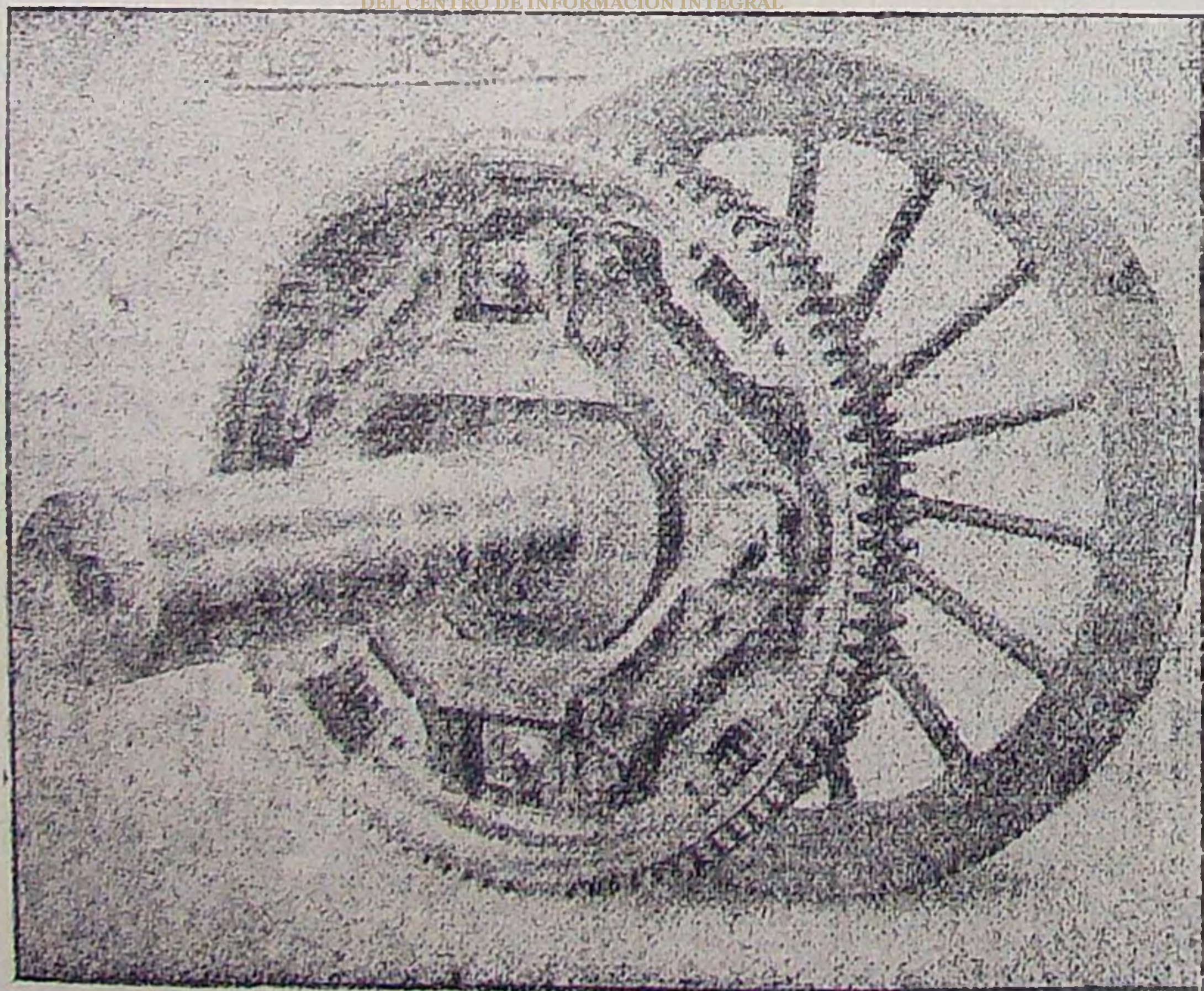
Los datos más importantes de esta locomotora son los siguientes:

---

Diámetro de las ruedas motrices.....	1.350 mm.
Diámetro de las ruedas guías.....	950 mm.
Relación de transmisión del engranaje.....	1 : 3,47
Número de motores de accionamiento.....	16 (8 pares)
Peso propio (m. o. m.).....	247 ton.
Freno eléctrico .....	Frenaje por recuperación
Fuerza de tracción máxima al arrancar .....	60.000 Kg.
Fuerza de tracción-hora ) .....	38.300 Kg.
	para velocidad de 62 km/h
Potencia-Hora .....	8.800 HP.
Potencia de duración para velocidad de 65 km/h .....	8.300 HP.
Velocidad máxima.....	100 Km/h.

---

La locomotora es capaz de mover 600 toneladas a una velocidad de 63 km/h. y 750 toneladas a una velocidad de





50 km/h. en ambos casos el tren moviéndose sobre una gradiente de 27 0/00.

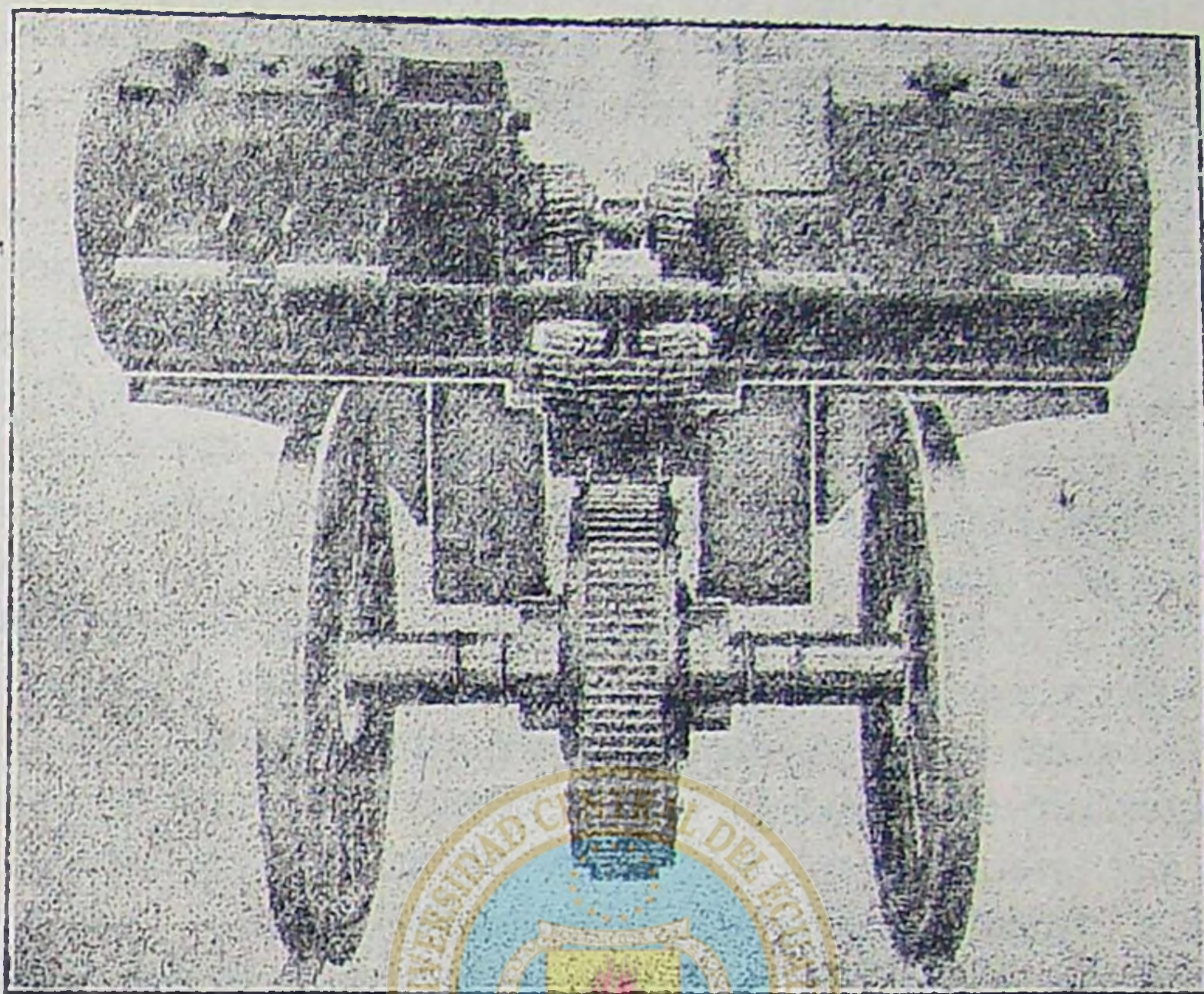


FIGURA 31

#### 6. LAS INSTALACIONES ELECTRICAS A CORRIENTE DEBIL

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

La electrificación de los ferrocarriles federales hizo necesaria la modificación, tanto de las instalaciones eléctricas de corriente débil, que forman parte de los ferrocarriles federales, así como también de las que hacen parte de las redes de telecomunicaciones del Estado (telegráficas y telefónicas).

Es conocido que las corrientes potentes que circulan en los conductores de contacto del ferrocarril, influyen enormemente a las instalaciones eléctricas de corriente débil, tanto con su campo eléctrico como con su campo magnético; esta influencia es tanto más grande cuanto mayor es la corriente que circula en los conductores del ferrocarril, así por ejemplo, cuando ocurre un cortocircuito en los conductores de contacto, la corriente es tan intensa, que hace funcionar los relays colocados en las instalaciones de señales del ferrocarril, provocando de esta manera la producción de señales falsas. Sería inútil decir que este hecho puede ocasionar graves consecuencias.



Además puede ocurrir que las corrientes normales que circulan en los conductores de contacto estorben de tal modo a las instalaciones de telecomunicaciones, que sería casi imposible efectuar una conferencia telefónica con perfecta claridad, o que se produzcan deformaciones de las señales de telegrafía.

Con el fin de subsanar este inconveniente, la administración de los ferrocarriles federales, ha sustituido todas las líneas aéreas de una cierta longitud, por cables subterráneos del tipo «Krarup», (estos cables están provistos de una envoltura de alambre de hierro, a fin de paralizar su capacidad).

Todos estos cables se encuentran tendidos a lo largo de las vías férreas.

Los cables están provistos de fusibles de tensión para 600 voltios, y de fusibles de corriente para 5 amperios.

La administración de Telecomunicaciones tuvo también que sustituir sus instalaciones aéreas por cables subterráneos, escogiendo como trazo las carreteras del Estado, apartándolos de este modo de las vías férreas.

Debido al hecho de que los conductores del cable son torcidos o cableados, la influencia del campo eléctrico de los conductores de contacto es nula. Además, la circunstancia de que los cables de teléfonos y telégrafos del Estado siguen las carreteras, las que se encuentran a una distancia relativamente grande de las vías férreas; no existe el peligro de que el campo magnético de los conductores de contacto influya en estos cables: sólo queda una influencia que subsanar, y es la que ejerce el campo magnético sobre los cables que siguen paralelamente las vías férreas. Para subsanar este último inconveniente, se ha adoptado ciertos dispositivos adecuados en la alimentación de los conductores de contacto, con lo cual se consiguió, que la influencia magnética sobre estos cables sea casi nula, aún en el caso en que se produjera un cortocircuito en los conductores de contacto, obteniéndose un servicio telefónico, telegráfico y de señalización sin perturbaciones.

En los cables principales del ferrocarril, se ha intercalado a cada kilómetro una caja de unión, provista de contactos que sirven para conectar una estación telefónica portátil.

Las plantas, las subestaciones y los demás lugares importantes de las redes suministradoras, están unidas entre sí por líneas telefónicas pertenecientes a los ferrocarriles, ade-



más, dichos lugares están conectados a la red telefónica pública.

### E. EL BALANCE DE ENERGIA

Por «Balance de Energía» se entiende el equilibrio entre la energía gastada y la energía disponible, o en otros términos, el equilibrio entre la energía ofrecida y la energía demandada.

En el año de 1929, la totalidad de las plantas hidroeléctricas que alimentan la red de los ferrocarriles federales era capaz para suministrar anualmente 465'000.000 Kw horas; esta energía disponible es «energía igualada», lo que quiere decir que puede ser consumida uniformemente, o en porciones repartidas igualmente entre los distintos meses, semanas, días y horas.

Esta uniformidad en la disposición, se debe a que las plantas mantenidas por embalsadero, están acopladas con las plantas de río, ayudándose y sosteniéndose mutuamente.

Como se dijo al principio, en los meses de invierno, las plantas de río, disponen de muy poca agua, en tanto que las plantas de acumulación, son las que consumen agua de sus embalsaderos, compensando de esta manera la deficiencia de las otras plantas, en el verano el servicio se efectúa a la inversa.

Para la repartición y la compensación de la carga entre las plantas, sirven los reguladores, los de las turbinas regulan la potencia watada, mientras que los reguladores de la excitación de los alternadores regulan la potencia dewatada.

La regulación se refiere, tanto a la carga de base del diagrama de carga (m. o. m. 60% de la carga máxima) como también a la carga de punto (los 40% restantes).

De este modo, es posible economizar el agua de un embalsadero casi gastado, y sacar más agua de otro que se encuentra todavía lleno.

Una oficina central especial, se encarga de estudiar únicamente estas condiciones de economía hidráulica, elaborar «Horarios de Gasto de Agua», que indican a cada planta, el régimen de trabajo a mantener dentro de las 24 horas.

La figura N° 32, indica un diagrama anual de producción.



La ordenada de dicho diagrama indica la potencia producida en KW.; la abscisa, el tiempo, (desde el 1º. de Mayo de 1929 hasta el 30 de Abril de 1930).

La superficie del gráfico comprendida entre la abscisa y la curva, o sea la suma integral de los KW. por el tiempo, da la cantidad de energía.

El diagrama contiene dos curvas principales, que representan, la una la energía disponible y la otra, la energía requerida por los ferrocarriles.

La primera curva, está subdividida en una parte, significando la energía suministrada por las plantas de río en la una parte y la energía suministrada por las plantas de acumulación de agua en la otra.

La diferencia de superficies comprendida entre las curvas principales, representa la energía excedente, de la que una parte es vendida a empresas particulares en forma de energía trifásica industrial.

La curva que representa la energía disponible, se refiere a uno de los años más secos que indica la estadística.

La curva que representa los KW. requeridos por los ferrocarriles, se refiere a un servicio durante las horas diarias en las que la carga es más fuerte.

Como demuestra el diagrama, la energía disponible sobrepasa en tan poco a la energía requerida, que ya se hace necesario el proyectar y construir una nueva planta.

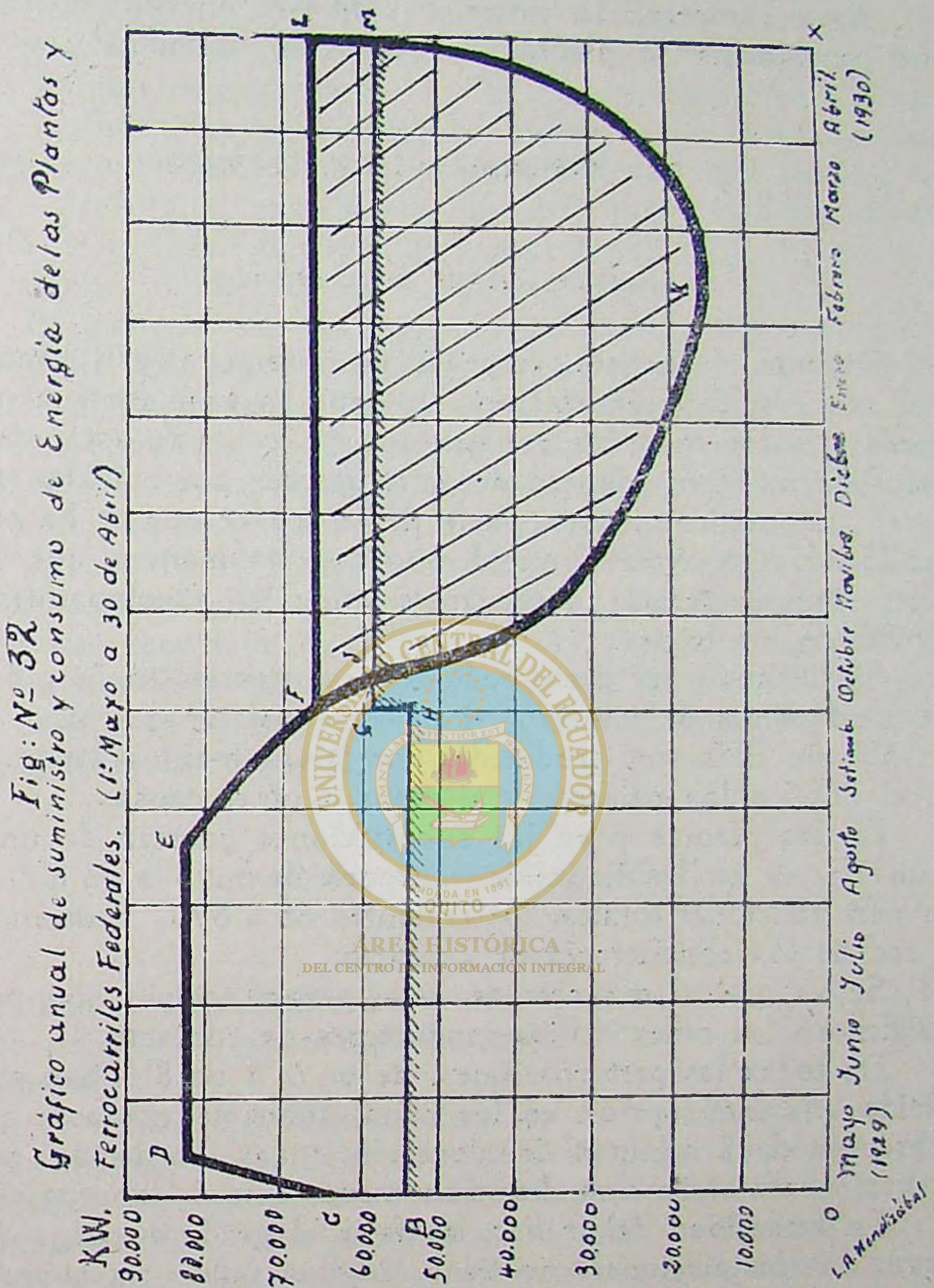
Por otra parte, se ve que casi coinciden las dos curvas, de producción y de demanda, lo que comprueba que las plantas han sido muy bien dimensionadas, y que el estado no ha gastado demasiado dinero en las plantas, dando que estas potencias no sobrepasen mucho a las potencias necesarias.

En este gráfico se puede ver los valores de las diferentes energías eléctricas del servicio de los ferrocarriles federales de Suiza, o sea energía disponible o capaz, energía requerida, o utilizada en un momento dado por los ferrocarriles, y energía sobrante o disponible. Todo para el tiempo comprendido entre el 1º. de Mayo de 1929 hasta el 30 de Abril de 1930.

#### SIGNIFICADO DEL GRAFICO

Area comprendida entre O-B-H-G-M-X-O, energía requerida por los ferrocarriles (tracción y calefacción). Entre oc-





tubre y abril, la potencia es mayor que para los otros meses, debido a la calefacción.

Area comprendida entre O-C-D-E-F-L-X-O, energía disponible a las barras colectoras de las plantas.

Area comprendida entre F-K-L-F, energía que proviene de las plantas de acumulación de agua.

Area comprendida entre B-C-D-E-F-L-M-J-G-H-B, energía sobrante total.



Area comprendida entre F-L-M-J-F, energia sobrante que proviene de las plantas con lagos de acumulaci3n.

## F. LAS EXPERIENCIAS DEL SERVICIO

### 1. PERTURBACIONES EN EL SERVICIO

Durante el servicio, se producen muy pocas perturbaciones; este resultado satisfactorio se debe en gran parte a que la red y sobre todo los conductores de contacto est1n provistos de un gran n1mero de interruptores autom1ticos que cortan autom1ticamente la parte de la red en que se ha producido un cortocircuito, impidiendo de esta manera, que sus efectos tengan serias consecuencia sobre el funcionamiento regular de los trenes.

Clasificando las perturbaciones que ocurren en la red de los conductores de contacto, se puede constatar que m. o. m. el 18% de ellas son producidas por falsas maniobras; m. o. m. el 28% a los p1jaros, y el resto a otras causas.

En las plantas y en las subestaciones ocurren de un 5 a un 7%, y en las l1neas de transporte de un 6 a un 8% de las perturbaciones totales, los restantes 85 a 89% ocurren en la red de los conductores de contacto.

Se ve que la mayor1a de estas perturbaciones son producidas en las redes de los conductores de contacto.

De todas las perturbaciones, de un 5 a un 8% han producido una interrupci3n en los conductores de contacto que sobrepasa de 5 minutos de duraci3n, todas las dem1s perturbaciones son de una duraci3n menor que 5 minutos.

La intensidad del tr1fico, es decir, el grado de carga que llevan las instalaciones, no tiene ninguna influencia sobre la seguridad del servicio, en otros t1rminos, los trenes funcionan con la misma regularidad, tanto en un d1a de festividad como en un d1a de frecuencia normal.

La creencia popular, antes de la electrificaci3n de los ferrocarriles, era de que una vez electrificados los ferrocarriles iban a producirse m1ltiples accidentes ocasionados por la alta tensi3n, pero esta creencia, felizmente no ha llegado a justificarse.



Gracias a las múltiples medidas de precaución que se han tomado para proteger a los ciudadanos y a todos los seres contra los peligros de la alta tensión, tales como: poner a tierra todas las construcciones metálicas que se encuentran en la cercanía de los conductores que llevan alta tensión, fijación de rótulos, etc., hasta hoy día, no se han registrado accidentes: ni con pasajeros ni con peatones, tanto en los viajes, como tampoco en las estaciones.

El número de víctimas que ha sufrido las consecuencias de la alta tensión durante la construcción, es también relativamente pequeño, alcanza solamente a m. o. m. 10 obreros cada año, la mayoría de estas víctimas lamentables, han caído trabajando en la cercanía de conductores de contacto que se encontraban bajo tensión.

El año de 1924, hubo que deplorar 6 suicidios, los cuales se consumaron en lugares en que el conductor de contacto pasa cerca de los techos de los vagones, barandillajes de puentes, etc., merece anotar, que ninguno de los accidentes citados se atribuyen a la falta de funcionamiento de los dispositivos de seguridad.



## 2. VENTAJAS DEL SERVICIO ELECTRICO

ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Las más importantes ventajas que tiene el servicio eléctrico sobre el servicio con locomotoras a vapor son las siguientes:

a) Ausencia de humo; con lo que se consigue una limpieza magnífica de los trenes, de las estaciones y en general, de todas las instalaciones de los ferrocarriles federales; esta ventaja se hace más notoria, si se toma en cuenta que la red ferroviaria cuenta con un gran número de túneles, algunos de los cuales tienen longitudes considerables, y que el servicio de higienización sería muy costoso.

La ausencia del humo, aumenta la seguridad del servicio y la del personal de los ferrocarriles, de modo que la administración puede contar con un personal lleno de salud, pudiendo fijar un límite de jubilación más alto para los empleados, en comparación con los ferrocarriles a vapor. El suceso que sigue nos demostrará en una forma irrefutable las ventajas del ferrocarril electrificado.



Unos pocos años antes de la electrificación, un tren salió de la estación contigua al túnel «Ricken» y se internó en éste. (El túnel «Ricken» se encuentra en la parte oriental de Suiza) en la estación inmediata se le esperó, pero en vano, no se sabía cual podía ser la causa de su retardo, preguntada la estación de la cual debía salir el tren, contestó que hacía mucho rato que salió, entonces se presumió que había ocurrido algún accidente, y en realidad, varios funcionarios de la administración, penetrando en el túnel, encontraron el tren parado en medio del túnel y sus tripulantes muertos. Se debe este accidente a que se produjo una contracorriente de viento, que ocasionó el enrarecimiento del aire en el interior del túnel, entonces el fuego de la máquina se apagó formándose una densa nube de humo y por la falta de oxígeno, se asfixiaron los hombres que se encontraban en la locomotora.

Los pasajeros aprecian enormemente la limpieza de los vagones, por lo que el tráfico de los ferrocarriles eléctricos ha aumentado en gran proporción.

Además, la ausencia del humo disminuye considerablemente los gastos de mantenimiento de los ferrocarriles y de los edificios que están contruidos en la cercanía de las vías férreas.

b) El servicio eléctrico no necesita de depósitos de carbón ni de agua, como tampoco de discos inversores del sentido de marcha, ya que las locomotoras eléctricas tienen cabina de comando en ambos lados.

c) La marcha de las locomotoras eléctricas es más uniforme que la de las locomotoras a vapor, por esto, el servicio eléctrico esfuerza menos a la vía, demandando, en consecuencia menores gastos de manutención, cosa que se traduce en ahorro de dinero por este concepto.

Además, la locomotora eléctrica está siempre dispuesta a marchar en cualquier momento, no así la locomotora de vapor, que necesita un cierto tiempo para calentarse y subir la presión del vapor.

d) El servicio eléctrico, necesita de un personal menos numeroso, consecuencia, un ahorro por este concepto, además, por la velocidad mayor de estos ferrocarriles la cifra que indica los kilómetros por hombre es mayor para este servicio que para el de vapor. En lo tocante al personal de servicio, los ferrocarriles eléctricos necesitan en parte de un solo hombre para el comando de la locomotora, no se



emplea personal de cuidadores de los depósitos de carbón y agua, ya que no se necesita de estos elementos.

Además no se necesita de tiempo para limpieza de las múltiples piezas que contiene la locomotora a vapor, arreglo del fuego, limpieza de los calderos, fogones etc.

e) Los momentos que hemos mencionado arriba, permiten mejorar considerablemente el horario, es decir, reducir los tiempos de viaje; gracias al funcionamiento preciso de las locomotoras, y tomando en cuenta que los motores eléctricos pueden ser sobrecargados en alto grado, y desarrollar velocidades considerables cuando se trata de recuperar tiempo perdido, y esto en un grado mucho mayor que lo que permiten las locomotoras a vapor, el maquinista está en condiciones de hacer llegar a su tren a la hora exacta. Este último momento de ventaja, es apreciado en alto grado por los pasajeros.

Para dar una idea del mejoramiento del horario, la tabla VIII, que se ve a continuación, anota los tiempos de viaje antes y después de la electrificación. Se ve que sobre todo el ahorro de tiempo es considerable, (para los trenes de carga en mayor grado).

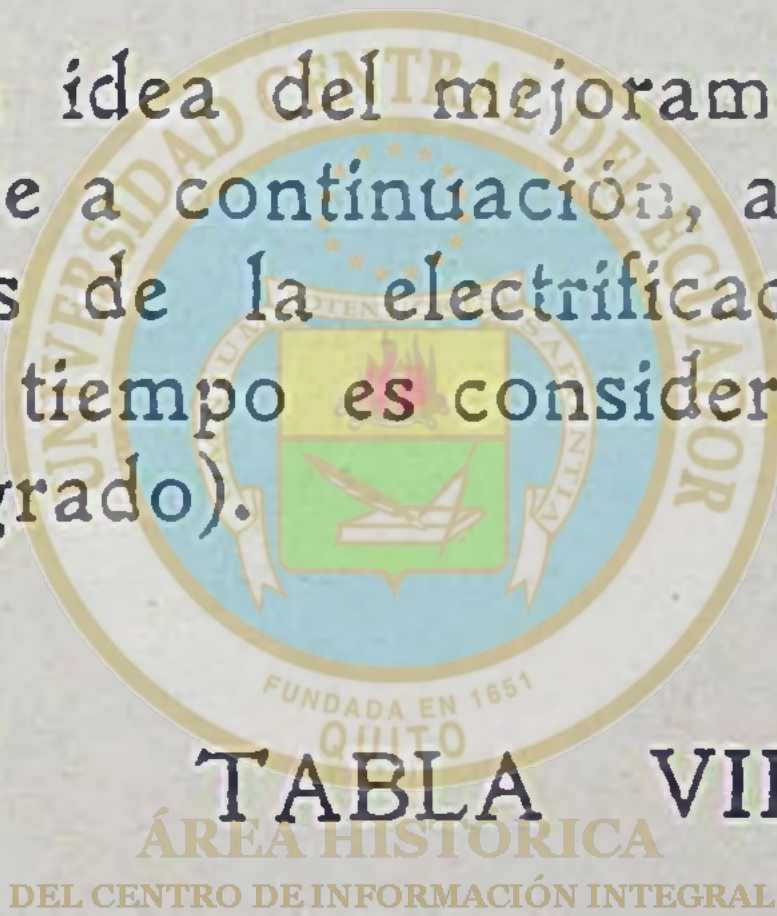


TABLA VIII

HORARIO DEL SERVICIO DE TRENES, ANTES Y DESPUES DE LA ELECTRIFICACIÓN

LINEA	Longitud Km.	TRENES DIREC- TOS			TRENES ORDI- NARIOS			TRENES DE CARGA		
		V Mint	E Mint	Ahor. Minu.	V Mint	E Mint	Ahor. Minu.	V. Mint	E Mint	Ahor. Minu.
Ersfeld - Bellinzona	109,3	133	113	20	180	160	20	282	210	72
Bellinzona - Erstfeld	109,3	149	115	34	198	163	34	288	204	84
Lausanne - Bern	97	125	97	28	185	152	33	347	256	91
Bern - Olten	67	75	67	8	134	114	10	159	137	22
Olten - Zürich	62,7	66	58	8	135	112	23	137	126	11
Zürich - Basel	88,5	95	85	10	167	154	13	212	156	66
Basel - Olten	39,2	42	39	3	63	69	4	70	69	1
Winterthur - St. Gallen	57,5	63	56	7	115	101	14	196	135	61
Promedio de ahorro de tiempo en %				15,9%			13,6%			24,2%

Significado: { V: Tiempos mantenidos antes de la electrificación.  
                  { E: Tiempos mantenidos después de la electrificación.



## G. CONSIDERACIONES FINANCIERAS

## 1. EL CAPITAL INVERTIDO

El capital invertido en todas las instalaciones y adquisiciones que fué necesario para la electrificación de los ferrocarriles federales, refiriéndose al año de 1928, era de 673'910.000 Frnc. Suizos.

La Tabla N°. IX, da una especificación de este capital, subdividido en tres distintos grupos.

## TABLA IX

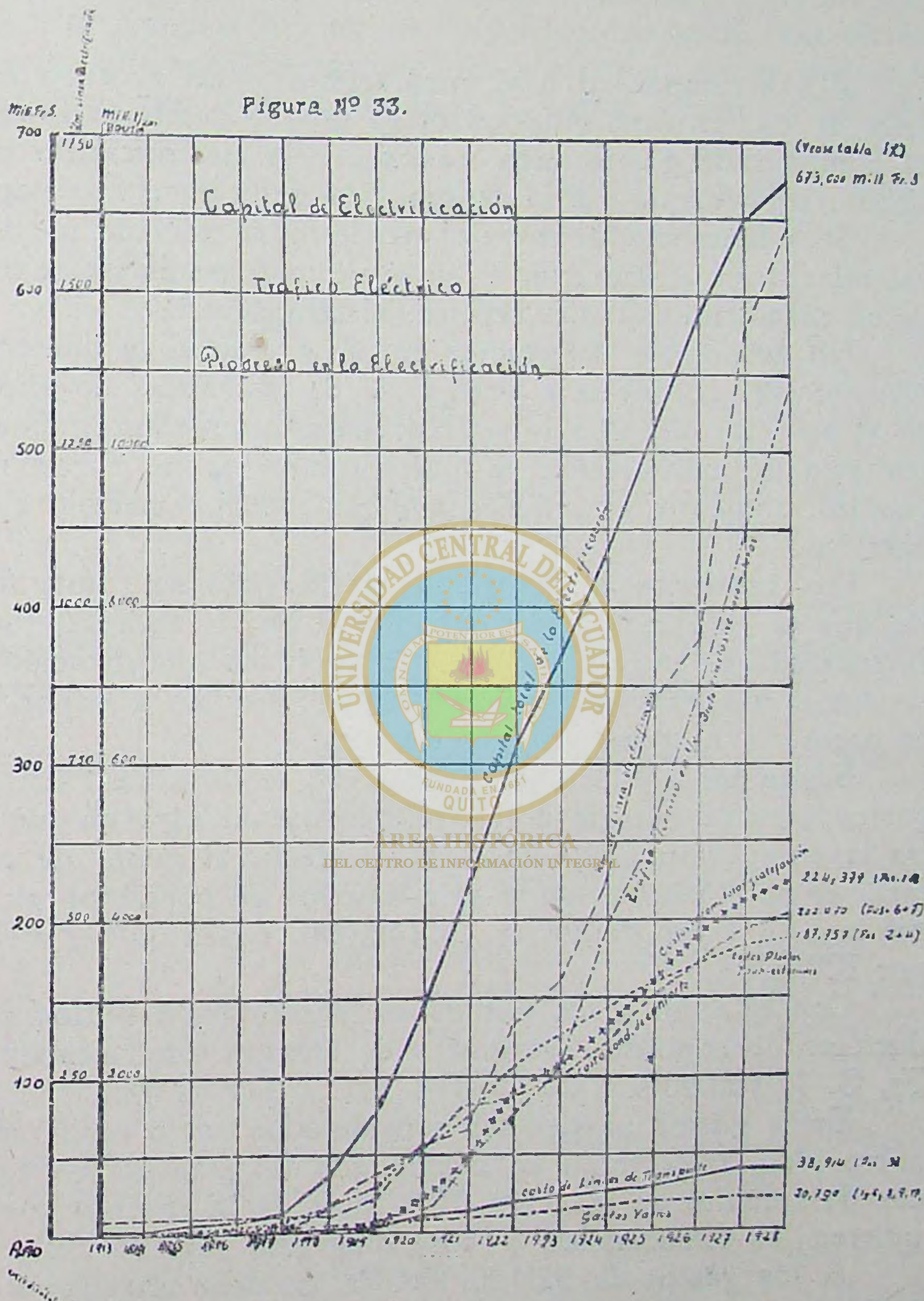
CAPITAL INVERTIDO EN LA ELECTRIFICACION DE LOS FERROCARRILES FEDERALES HASTA LA FINALIZACION DEL AÑO DE 1928. (LONGITUD TOTAL DE LAS LINEAS ELECTRIFICADAS 1.666 KILOMETROS)

I. GRUPO: <i>Plantas hidráulicas, líneas de transporte y subestaciones</i>	
1°. Adquisición de Concesiones	Fr. Suizos 5'009.000
2°. Plantas Hidráulicas	147'292.000
3°. Líneas de transporte	38'914.000
4°. Sub-Estaciones	40'465.000
5°. Gastos Generales	1'953.000
Total 1°. - 5°.	Fr. S. 233'633.000
II. GRUPO: <i>Red de conductores de contacto</i>	
6°. Conductores de contacto	130'172.000
7°. Instalaciones de corriente débil	71.898.000
8°. Gastos Generales	1'683.000
Total 6°. - 8°.	Fr. S. 203'753.000
III. GRUPO: <i>Materiales rodantes y depósitos</i>	
9°. Depósitos y talleres	10'212.000
10. Locomotoras y calefacción de trenes	224'379.000
11. Gastos Generales	1'933.000
Total 9°. - 11.	Fr. S. 236'524.000
Capital total 1°. - 11.	Francos Suizos 673'910.000

Es interesante notar que los totales de los tres grupos difieren muy poco entre sí.



Un kilómetro de línea electrificada, alcanza a un costo de 405.000 Francos Suizos.



En el gráfico Fig. Nº. 33, en el que constan también los km. de vías electrificadas, y el tráfico en bruto-toneladas-kilómetro se encuentran estas cifras para los distintos años del período de la electrificación.



2. COMPARACION ENTRE LOS GASTOS PARA EL SERVICIO ELECTRICO  
Y PARA EL SERVICIO A VAPOR

El abaratamiento o el encarecimiento del servicio eléctrico de los ferrocarriles federales es igual a la diferencia entre el aumento de gastos provocados por la electrificación y el ahorro proveniente por la desaparición de la tracción a vapor.

Si la diferencia tiene valor negativo, se trata de un abaratamiento en el servicio, si es positivo el resultado, se trata de un encarecimiento del servicio electrificado.

No es posible determinar en cifras exactas la diferencia mencionada, porque una gran parte de las causas de ahorro en el servicio eléctrico no se traducen directamente en dinero; por esto, a continuación se indica solamente en pocos rasgos, los momentos principales que influyen el cálculo comparativo.

Los aumentos en los gastos de servicio son ante todo los que se refieren a los grupos I y II de la tabla IX, (debe entenderse que entra el interés y la cuota de amortización de las sumas respectivas), porque para el servicio a vapor, no es necesario ninguna energía eléctrica.

Según las anotaciones hechas en el año de 1929 los gastos para la energía total (refiriéndose al lugar en que entra la energía en la locomotora, es decir, al punto de contacto entre el pantógrafo y el conductor de contacto) alcanzan a la suma de Fr. S. 32'140.000, o sea 0,0912 Fr. S. por KWh.

Con relación a los puntos de alimentación de los conductores de contacto, los gastos de energía total alcanzan a Fr. S. 17'950.000 o sea 0,0494 Fr. S. por KWh.

Estos gastos pueden ser considerados como moderados, sobre todo, si se toma en cuenta que las plantas son capaces de suministrar m. o. m. 10% más de la energía que requieren los ferrocarriles. (Véase diagrama Fig. N° 32).

A los gastos de 32'140.000 Fr. S. debe añadirse el interés, la amortización y la alimentación del fondo de renovación relacionado al grupo III de la tabla IX, suma que asciende a Fr. S. 18'170.000.

El aumento total de los gastos anuales de servicio ocasionado por la electrificación alcanza a Fr. S.  $32'140.000 + 18'170.000 = 50'310.000$  Francos Suizos.



A continuación hacemos una determinación de los ahorros que provienen de la supresión del servicio a vapor. Para mantener el servicio a vapor, manteniendo un horario prescrito como el del servicio eléctrico, se habría necesitado adquirir una gran cantidad de locomotoras a vapor nuevas y modernas; esta adquisición habría costado Fr. S. 70'000.000. Por cuanto esta adquisición no ha sido realizada, resulta un ahorro por el interés y la amortización de esta suma a más de la alimentación de fondo de renovación respectivo de Fr. S. 5'500.000.

Según la estadística, el servicio ferroviario de vapor gastaba un promedio de 72 Kg. de carbón por cada 1.000 toneladas-bruto-kilómetro. Tomando en cuenta que las locomotoras modernas a vapor, que habrían sido adquiridas, hubieran dado un rendimiento mayor que las locomotoras a que se refiere la estadística, creemos conveniente bajar un tanto el consumo específico de carbón, dejándolo en 70 Kg. por 1.000 toneladas-bruto-kilómetros.

Los ferrocarriles electrificados, en el año en referencia efectuaron un trabajo de 8.549.000.000 toneladas-bruto-kilómetros. El gasto correspondiente sería entonces de:

$$\frac{8.549.000.000}{1.000} \times 70 \text{ Kg.} \cong 600.000 \text{ toneladas de carbón.}$$

ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

El costo correspondiente sería pues de (la tonelada a Fr. S. 37.)

$$37 \times 600.000 = 22.200.000 \text{ de Fr. Suizos por año.}$$

Como se ha expuesto en el (capítulo F, acápite 2, párrafo e.) el ahorro en el personal de servicio es considerable, se ha determinado este ahorro en la suma de Fr. S. 17.500.000 por año. Para el mantenimiento de las vías férreas, compra de material lubricante, arriendo de vagones para el transporte de carbón, pensión de agua de alimentación, había que contar con la suma de Fr. S. 1.6000.000.

Los gastos de mantenimiento de las locomotoras alcanzan a Fr. S. 0,23 por Locomotora-Kilómetro; los gastos de la misma índole para una locomotora de vapor asciende a Fr. S. 0,35 por locomotor-kilómetro.

Sobre la base de estas últimas cifras específicas se ha calculado un ahorro en los gastos anuales de mantenimiento de las locomotoras eléctricos de Fr. S. 5.900.000.



Sumando todos estos renglones de *ahorro* en favor de los ferrocarriles eléctricos se recibe una suma total de Fr. S.:  $5.500.000 + 22.200.000 + 17.500.000 + 1.600.000 + 5.900.000 = \text{Fr. S. } 52.700.000$ .

Procediendo de acuerdo con lo enunciado al principio de este párrafo, hacemos la diferencia entre el aumento de gastos ocasionados por la electrificación y los ahorros provenientes de la supresión del servicio a vapor, o sea de las cantidades siguientes:  $50.340.000 - 52.700.000$ , encontramos que la diferencia resultante lleva el signo negativo, que, de acuerdo con nuestro enunciado significa un abaratamiento en el servicio de los ferrocarriles electrificados.

A pesar de representar un abaratamiento leve, sus beneficios, como se dijo en páginas anteriores, no estriban solamente en cantidades de dinero, sino en condiciones de mejoramiento característico, tales como: falta de humo, exactitud en los horarios, calefacción eléctrica en los vagones, seguridad en las travesías, etc., estas ventajas relacionadas al aspecto de comodidad, en el aspecto económico y de modernización, contamos con la supresión de depósitos de carbón, de agua, una parte de lubricantes, desaseo en las vías y estaciones tanto de tránsito como de parada, a más de que por las circunstancias enumeradas, el personal de servicio es garantizado de una mejor salud, consecuencia de esto, es posible elevar el límite de jubilación y más ventajas que hemos enumerado antes.

Todas estas ventajas tienden a aumentar la frecuencia en el tráfico de los ferrocarriles; una comprobación de lo dicho es que desde la electrificación de los ferrocarriles federales, se ha anotado un aumento en el movimiento de pasajeros y consiguientemente de carga, mayor al que se esperaba.

Claro está, que proporcionalmente con la frecuencia en el tráfico, aumenta la rentabilidad.

La gran obra de la electrificación de los ferrocarriles federales, ha traído desde el punto de vista nacional, una serie de ventajas grandes para Suiza.

Entre las que se puede anotar la de que, utilizando como fuente de energía las aguas que son de propiedad de la nación, se suprime completamente la importación de las mencionadas 600.000 toneladas de carbón, mejorando la balanza de comercio del país en la no despreciable suma de..... Fr. S. 22.200.000.



Respecto de ventajas nacionales, se debe considerar el hecho de que los trabajos de la electrificación se llevaron a cabo en la época en que las industrias nacionales habían sufrido grandemente por efecto de la guerra mundial, esto puede ser calificado como ventaja de aspecto estratégico, ya que en los momentos más críticos para las industrias, la electrificación vino a robustecerlas en forma eficaz, sacáncolas de una crisis económica, circunstancia que no olvida la población de Suiza.

Cabe anotar que, del capital total invertido en la electrificación de los ferrocarriles (673.910.000 Fr. S.) en la tabla IX) solamente la quinta parte se invirtió en compras al exterior, quedando las  $\frac{4}{5}$  partes en poder de la misma nación. Casi la totalidad de los materiales empleados en la obra, son de construcción nacional, excepción hecha de las tuberías forzadas para alta presión, soldadas a gas hidrógeno y destinadas a tres de las cinco plantas hidroeléctricas, y de la mayor parte de los aisladores, todo lo demás, es material Suizo.

El capital invertido en la obra y que los ferrocarriles adeudan a la población, debe ser pagado dentro de 100 años.

#### H. PROPAGACION DE LA ELECTRIFICACION DE FERROCARRILES EN LOS DEMAS ESTADOS

ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

En lo referente a la mayor longitud de líneas electrificadas, Suiza, es superada solamente por los Estados Unidos de Norte América e Italia; en los EE. UU., a fines del año de 1929, había al rededor de 2.800 kilómetros de vías electrificadas a larga distancia y con vía de ancho normal, sin contar con las pequeñas líneas de ferrocarriles electrificados inter-urbanos; pero todos los ferrocarriles electrificados de los EE. UU. no forman un conjunto perteneciente al Estado, como los ferrocarriles federales electrificados de la Suiza, sino que la mayor parte de ellos pertenecen y han sido construidos según estudios y planes individuales elaborados por compañías particulares.

De los demás países, Italia y Alemania, demuestran el más intenso desarrollo en la electrificación de sus ferrocarriles. Según una estadística elaborada por los ferrocarriles del Estado de Italia, al finalizar el año de 1928, habían electrificados m. o. m. 2.700 km. de vías férreas.

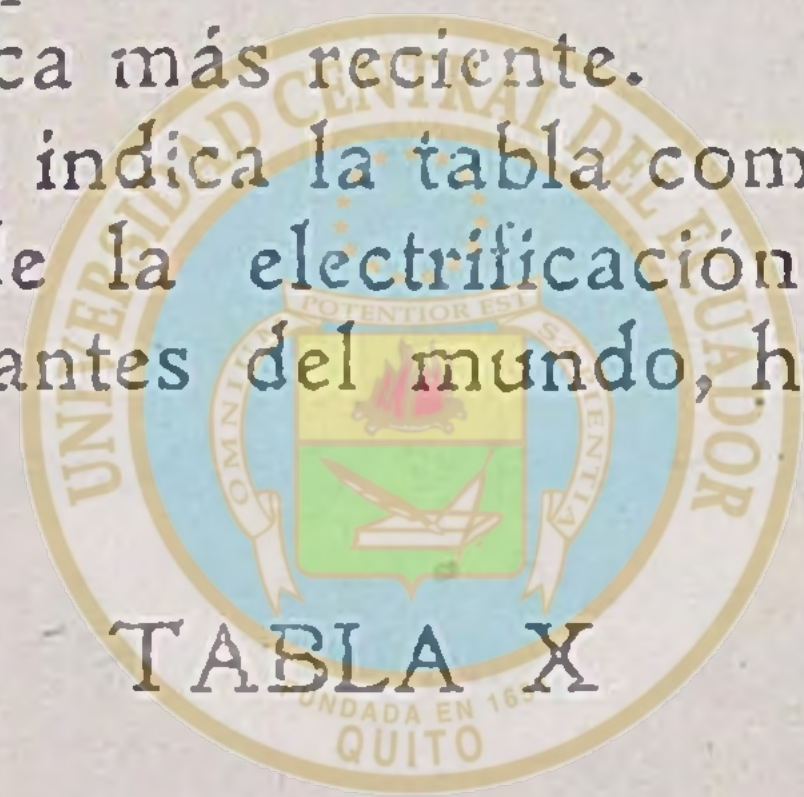


Alemania, en la misma época, había electrificado m. o. m. 1.600 km. de vía.

La relación entre los ferrocarriles electrificados en todo el mundo y la totalidad de los ferrocarriles existentes es sumamente pequeña, pues, alcanza solamente a m. o. m. 0,03 de la totalidad, o sea, 3% de la totalidad de los ferrocarriles del mundo entero, están electrificados.

La tabla X, nos ilustra acerca de la cantidad de ferrocarriles electrificados en las más importantes naciones del mundo. En la sección «Observaciones» de esta tabla, se han indicado, los datos referentes a la clase de corriente que se ha empleado para los ferrocarriles. Las cifras que contiene la tabla X, se refieren al año de 1928, desgraciadamente, el suscrito, hasta el momento, no ha tenido oportunidad de encontrar cifras estadísticas que indiquen para todos los países los últimos datos al respecto de incremento en la electrificación de ferrocarriles en época más reciente.

A continuación se indica la tabla comparativa de la densidad o incremento de la electrificación de ferrocarriles en los países más importantes del mundo, hasta el año de 1928.



### TABLA X

#### ÁREA HISTÓRICA

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

#### INCREMENTO DE LA ELECTRIFICACIÓN DE FERROCARRILES EN VARIOS PAISES AL FINALIZAR EL AÑO DE 1928

FERROCARRIL	LONGITUD DE LINEAS ELECTRI- FICDS. KM.	OBSERVACIONES
Schweizerische Bundesbahnen (Ferrocarriles Federales)	1.666	1.589 km. 1 red de líneas que forman un conjunto, corriente monofásica de 15.000 voltios, 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> ciclos por segundo. 55 km. Seetalbahn, corriente monofásica de 5.500 voltios, 25 ciclos.
SUIZA		22 km. Simplon-túnel corriente trifásica de 3.300 voltios, 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> ciclos por segundo. 1.666 km.



FERROCARRIL	LONGITUD DE LÍNEAS ELECTRI- FICDS. KM.	OBSERVACIONES
<p>Ferrovie dello Stato (Ferrocarriles del Estado)</p> <p>ITALIA</p>	2.700	<p>862 km. 1 red de líneas que forman un conjunto, corriente trifásica de 3.700 voltios, <math>16\frac{2}{3}</math> ciclos por segundo.</p> <p>364 km. 4 líneas individuales, alimentadas por corriente trifásica de 3.700 y 3.300 vts. <math>16\frac{2}{3}</math> ciclos por segundo.</p> <p>108 km. 2 grupos de líneas, alimentados por corriente continua, tensión de 650 voltios, tercer riel.</p> <p>101 km. 1 línea, alimentada por corriente continua, a una tensión de 3.000 voltios.</p> <p>172 km. 1 línea, corriente trifásica de 10.000 voltios, 45 ciclos por segundo.</p> <p>1.607 km.</p>
<p>Deutsche Reichsbahn (Ferrocarril Alemán del Reich)</p> <p>ALEMANIA</p>	1.600	<p>1.270 km. 4 grupos de líneas, corriente monofásica de <math>16\frac{2}{3}</math> ciclos por segundo y 15.000 voltios de tensión.</p> <p>225 km. Berliner Stadt-und Ringbahnen corriente continua de 800 voltios, tercer riel.</p> <p>49 km. Varias líneas individuales de diferentes clases de corriente.</p> <p>1.607 km.</p>
<p>Chicago, Milwaukee &amp; St. Paul</p> <p>ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMERICA</p>	2.800	<p>705 km. Harlowton-Avery railway, corriente monofásica de 3.000 voltios (pasa un páramo).</p> <p>338 km. Othello-Pacific Coast, railway, corriente continua de 3.000 voltios (pasa un páramo).</p> <p>1.043 km.</p>



FERROCARRIL	LONGITUD DE LINEAS ELECTRI- FICDS. KM.	OBSERVACIONES
Schwedische Eisen- bahnen (Ferrocarriles Suecos)	892	434 km. Svartön-Riksgränsen co- rriente monofásica de 15.000 voltios $16\frac{2}{3}$ ciclos por segundo.
SUECIA		458 km. Stockolm-Göteborg, corrt. monofásica de 15.000 vts. $16\frac{2}{3}$ ciclos por segundo.
		892 km.
Chemin de Fer du Midi (Ferrocarril Meridional)	919	919 km. 1 red que forma un con- junto, corriente continua de 1.500 voltios.
FRANCIA		

### I. OBSERVACION FINAL

Respecto a la relación entre las líneas electrificadas y las líneas totales de sus ferrocarriles, la Suiza ocupa el primer lugar entre todos los países del mundo. Esta circunstancia no es muy extraña, porque en ningún otro país existe un número tan grande de factores que favorezcan y casi prescriban la electrificación; dichos factores son, principalmente, un sinnúmero de fuentes de energía hidráulica, una red ferroviaria sumamente densa, un gran número de túneles atravesados por ferrocarriles, muchas líneas férreas con gradientes fuertes, un tráfico intenso de turistas provenientes de todas partes del mundo, etc.

Suiza es el primer país en el que la totalidad de los ferrocarriles pertenecientes al Estado, ha sido electrificadas, de acuerdo con un plan general y uniforme, y que haya sido financiado por el pueblo. Se trata pues, de una obra que ha sido creada por la nación entera; Ingenieros, Técnicos, Banqueros, Comerciantes, Mecánicos, Artesanos, Obreros y Peones han colaborado con entusiasmo en esta obra.

Durante la construcción y aún después de la terminación de la electrificación de los ferrocarriles, un sinnúmero de co-



misiones técnicas ferrocarrileras de varios países visitaron la Suiza, con el objeto de enterarse sobre los detalles de la electrificación de sus ferrocarriles; varios ingenieros Suizos, que habían colaborado en este trabajo, fueron llamados por los países extranjeros, a fin de introducir allí también la tracción eléctrica, aprovechando de sus experiencias adquiridas.

El pueblo Suizo, se encuentra siempre satisfecho por el éxito obtenido con la electrificación de sus ferrocarriles; el extranjero que entra del exterior en la Suiza, por la gran puerta de Basilea, cambia con gran satisfacción el tren de vapor que los ha trasladado hasta ese lugar, por un tren eléctrico.

Lo primero que le asombra es la falta absoluta de humo y la limpieza de los trenes; el segundo asombro es encontrarse con un tren rapidísimo, y que en su marcha no se producen absolutamente choques ni sacudidas, ni siquiera vibraciones fuertes; sorprende asimismo, la suavidad del arranque, y al mismo tiempo, la rapidez con que el tren alcanza la plena velocidad.

Siguiendo el viaje, el pasajero puede constatar, que todas las estaciones que pasa, son de una limpieza absoluta.

El turista que atraviesa las líneas de las montañas, se queda estupefacto, de la gran velocidad con que los trenes más pesados suben las rampas fuertes, (no sabe que su tren es arrastrado por una locomotora que desarrolla 8.800 HP.)

Sin ser molestado por el humo, el turista puede asomarse a los grandes ventanales del vagón, y admirar la belleza del paisaje que se le presenta ante sus ojos, y que es cambiado rápidamente por la vertiginosa carrera de su ferrocarril, y el sinnúmero de curvas que sortea éste, sin cambiar sensiblemente su velocidad, a pesar de tomar gradientes fuertes.

Cuando el viajero, consulta su reloj al acercarse al lugar de su destino, comprueba, nuevamente sorprendido, que el tren ha mantenido exactamente la hora indicada en el horario, y no encuentra que sus amigos que le esperan en la estación, están de mala gana, por haber tenido que esperar un largo rato, sobre un andén azotado por corrientes de aire y de frío, en espera de un tren a vapor que llega con retraso; muy al contrario, lo esperan sonrientes y alegres.



Al llegar a su casa, el viajero, no tiene necesidad de pedir ante todo un baño y nueva ropa, a fin de librarse del hollín y polvo, proveniente de un largo viaje en tren de vapor.

Hace años que el hombre ha comprendido las grandes ventajas que trae consigo la electrificación de los ferrocarriles, por esto, tiene el anhelo de que en su patria también todos los ferrocarriles sean accionados por electricidad; esta forma de energía que en la actualidad presta al hombre tantos y tan importantes servicios.

Esta es la razón por la que la electrificación de los ferrocarriles, en los días en que nos encontramos está siguiendo su carrera de victorias a través de todo el mundo.



ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL



ESQUEMA DE LAS PLANTAS.  
SUB-ESTACIONES Y LINEAS DE TRANSPORTE

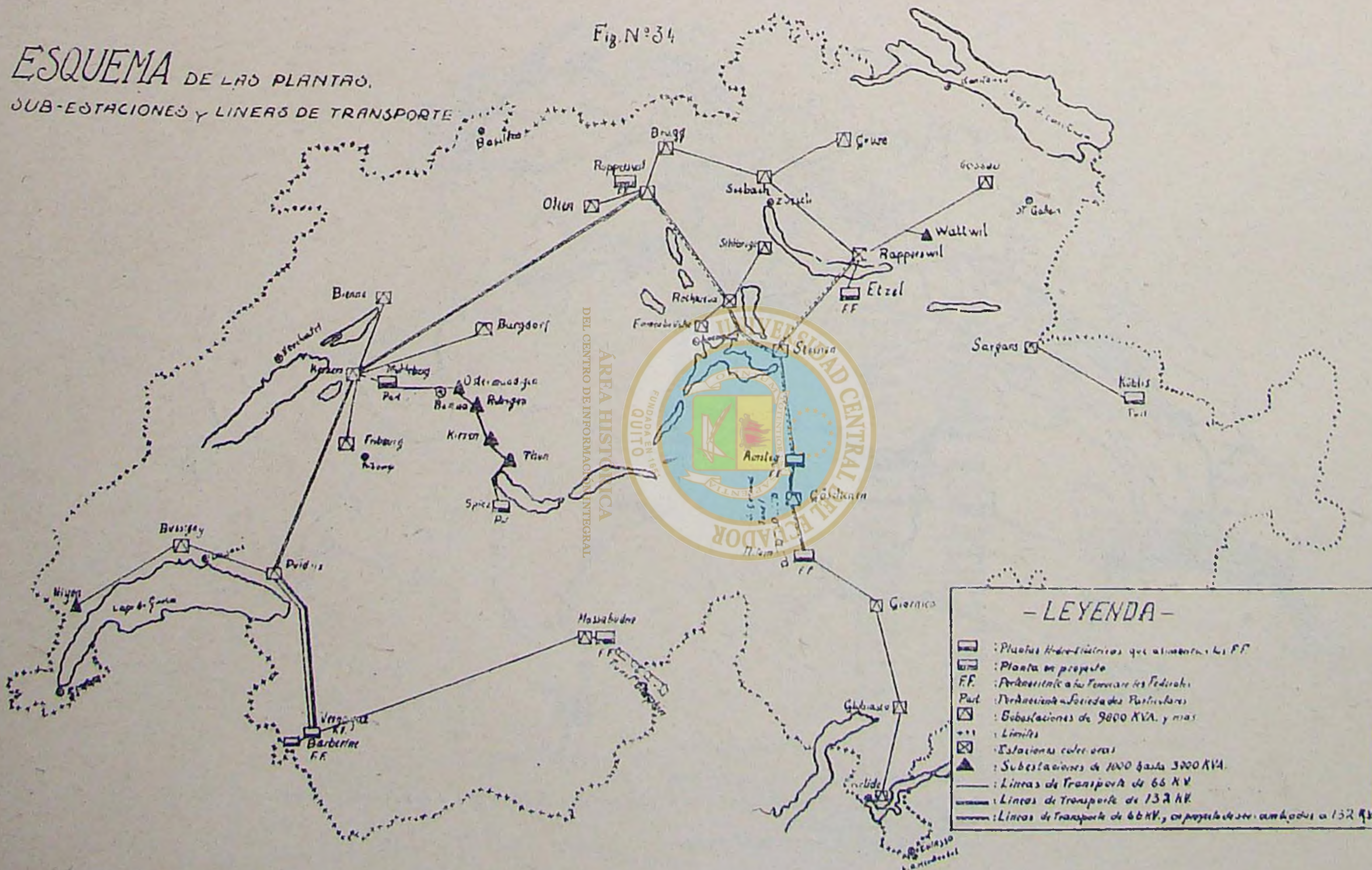
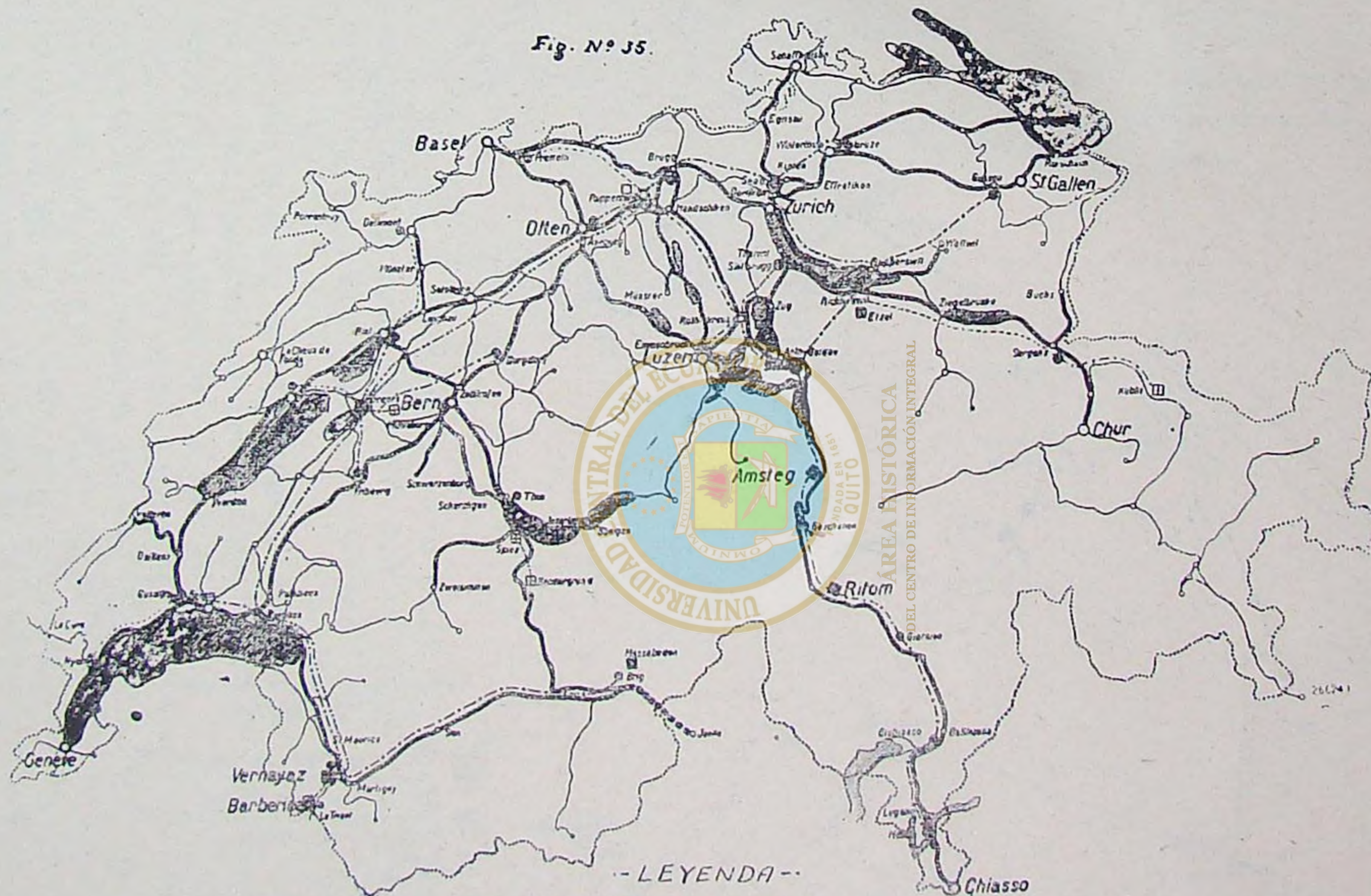




Fig. N° 35.



-- LEYENDA --

- VIAS FERREAS ELECTRIFICADAS.
- PLANTAS HIDRO-ELECTRICAS que suministran energia a los ferrocarriles.
- SUB-ESTACIONES.
- · - · - LINEAS DE TRANSPORTE.