

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

LA HULLA BLANCA EN LOS ALPES FRANCESES AL PRINCIPIO DE 1916

POR

R. DE LA BROSSE

Ingeniero de Puentes y Calzadas.

En este estudio extraído del tomo VII de las publicaciones del Servicio de las grandes fuerzas hidráulicas, región de los Alpes, el autor hace resaltar, primeramente, la impulsión que las necesidades de la guerra han comunicado á la utilización de las riquezas hidráulicas de los Alpes. Insiste á continuación en el desperdicio de energía á que da lugar el método actual del aprovechamiento de los combustibles minerales y recuerda que la completa explotación de las fuerzas motrices hidráulicas de los Alpes franceses serviría para economizar anualmente 20 millones de toneladas de hulla, ó sea la mitad de la producción total de Francia antes de la guerra. Termina demostrando la importancia que ya ha alcanzado la industria electrotérmica en la región de los Alpes y llamando la atención respecto al interés que presenta la creación en la misma región de otras industrias como, por ejemplo, la textil, que hallarían á un precio barato la fuerza motriz que en la actualidad obtienen por medio de la hulla.

EFFECTOS DE LA GUERRA.—¿Cómo abordar este tema en los días trágicos que marcan el principio de este año de 1916, sin preguntarse primeramente el papel que desempeñan las fuerzas hidráulicas en la actual guerra que absorbe la energía y la atención del mundo entero? Este papel tan importante merece algo más que una sencilla mención; ha sido ya señalado por distintos observadores pertenecientes á todas las clases sociales, y es justo que aparezca también al principio de un artículo dedicado, especialmente, á las fuerzas hidráulicas de los Alpes franceses.

Si Alemania puede, en efecto, con perfecto derecho, felicitar-se de hallar en su territorio propio y en el de los países ocupados hierro y carbón, elementos fundamentales de las batallas modernas, no puede, por el contrario, disponer de fuerzas naturales como las que hacen de los Alpes una reserva inagotable de energía, no menos fecunda en la guerra que en la paz y que la misma guerra contribuye á desarrollar ante nuestra vista. Porque la prueba impuesta al país, en lugar de descorazonar las iniciativas, suscita nuevas y provoca algunas empresas que en la paz no había sido posible desarrollar. Por muy extraña que pueda aparecer la afirmación, es exactísimo que sin la guerra y las necesidades derivadas de ella, muchos saltos de agua que en la actualidad se hallan en estado de construcción habrían tenido que esperar mucho tiempo para su realización y todavía más sin duda para su completo aprovechamiento. Este caso sucede en el salto del Largue,

en el Durance y en el de Fond-de-France, en el Breda (Isère), cuyos aprovechamientos se calculaban para un porvenir bastante lejano, pero que una demanda constantemente en aumento de energía, determinada por las necesidades de la defensa nacional, ha hecho emprender mucho antes de lo que se esperaba, y que muy pronto van á estar ambos en condiciones de facilitar su concurso.

En otros que por causa de la movilización fueron suspendidas sus obras al principio, las mismas necesidades no han tardado mucho tiempo en provocar la reanudación; varios en el Fier, en el Eau d'Olle, el Durance, etc, no tardarán en poder prestar su auxilio. Existe en esto un hecho tanto más notorio, cuanto que las circunstancias son desfavorables desde muchos puntos de vista: la mano de obra es, por decirlo así, inhallable, difíciles los transportes, las maderas para construcciones han duplicado su precio, los hierros más que triplicado, los créditos se han dificultado enormemente, y á pesar de estos obstáculos se asiste á este espectáculo imprevisto, pero reconfortante, al ver cómo Sociedades reputadas de prudentes comprometen capitales enormes, cómo se abren grandes talleres, cómo se pueblan de obreros reclutados de todas partes y cómo se va recibiendo poco á poco todos los materiales necesarios. Las fábricas en construcción en Bonnevaux, Servoz, Val-de-Fier, Fond-de-France, Tenciso, Rivier-d'Allemond, l'Encacière y en el Largue, dotadas para 40.000 caballos, van á proporcionar á las industrias de la región un suplemento aproximado de 20.000 caballos en invierno y de 25.000 en verano. Si las circunstancias no son muy desfavorables, se espera conseguir, ya para el invierno próximo, por lo menos, una buena parte de esa fuerza; nuestros medios de acción se verán, pues, poderosamente reforzados. Al lado de estos nuevos orígenes de energía creados en su totalidad en tiempo de guerra, acaban de aparecer en algunos de nuestros más grandes saltos unos aparatos que utilizan directamente el agua bajo su presión estática, aprovechables para diversas fabricaciones hasta hoy desconocidas y en cuyos detalles sería inoportuno entrar, pero sin riesgo á ninguna indiscreción, podemos decir que estos nuevos empleos del agua tomada directamente de las conducciones forzadas, bajo presiones de 50 á 60 atmósferas, pueden ser en el porvenir el punto de partida de operaciones en extremo importantes. Desde el principio se ha obtenido el resultado de provocar ingeniosas soluciones para ciertos problemas que hasta la actualidad no habían casi salido del período de las investigaciones científicas, por ejemplo, para el de los golpes de ariete, problema muy interesante que se ha visto de repente transportado del terreno de la teoría al de la práctica.

Sin embargo, los efectos de la guerra no se reducen solamen-

te á la impulsión dada en la investigación de nuevos orígenes de energía y en los perfeccionamientos de ciertos detalles de construcción, sino que son más notables en el dominio de las aplicaciones; la electrometalurgia no solamente desarrolla sus antiguas fabricaciones de aceros, fundición, aluminio, etc., sino que también las aumenta; multiplica sus hornos, aborda nuevos productos como la fundición sintética, los metales resistentes á los ácidos (elianta, etc.), el hierro electrolítico, el cinc, el magnesio, etcétera; la electroquímica desarrolla sin descanso sus fabricaciones de productos nitrogenados y clorados, carburos, fósforos, cloro y sus numerosos derivados; los talleres mecánicos alimentados por energía de nuestros saltos de agua, cuyas líneas de transporte se multiplican por todas partes, perfeccionan su herramienta, sus métodos, sus vías de acceso; por todas partes se presenta el espectáculo de una intensa actividad material y la mucho más admirable todavía de los esfuerzos coordinados, de las abnegaciones sostenidas sin desfallecimiento y de esta unión para el trabajo que constituye la fuerza y asegura la victoria. Tal es el papel desempeñado por la hulla blanca durante la guerra, veamos ahora el que le espera cuando la paz llegue.

RENDIMIENTO DE LOS COMBUSTIBLES.—Cuando se mide con un calorímetro la cantidad de calor desprendida en la combustión de un gramo de carbón de calidad media, se halla, aproximadamente, unas ocho calorías grandes (1), que si fuera posible convertirlas integralmente en trabajo mecánico (lo que, por lo demás, es rigurosamente imposible), darían $8 \times 425 = 3.400$ kilográmetros, ó puesto que el kilovatio-hora vale

$$366.972 \text{ kgm.} \cdot \frac{3.400}{366.972} = 0,009 \text{ kv.-h.}$$

Esto permitiría obtener el kilovatio-hora con

$$\frac{366.972}{3.400} = 107 \text{ gramos de carbón.}$$

Desgraciadamente se está lejos de esto; las más modernas turbinas americanas se dice llegan á producirlo con un poco menos de 600 gramos, lo que corresponde á un rendimiento del 17 por 100, pero en la mayoría de los generadores ordinarios se quema de 1.000 á 1.500 gramos de carbón (á veces más todavía), lo que corresponde á rendimientos del 11 y del 7 por 100. En la mayoría de estos casos el rendimiento (2) no excede del 10 por 100, en los más favorables, queda considerablemente por debajo del 20 por 100, aun teniendo en cuenta la recuperación del calor contenido en los humos, que marca, sin embargo, el progreso más importante realizado hasta la fecha para el mejor aprovechamiento del combustible. Los hogares para la calefacción doméstica dan un rendimiento tan mediocre por lo menos y habitualmente muy inferior.

(1) Se sabe que la caloría C. G. S. es por definición la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado, á partir de 15 grados; su equivalente en energía mecánica es 0,425 kilográmetros ó 4,170 julios. La «caloría grande» capaz de elevar en un grado la temperatura de un kilogramo de agua, es mil veces mayor. Tiene por equivalente mecánica 425 kilográmetros (ó 4.170 julios). El julio vale 10^7 ergs y la caloría C. G. S. vale $4,17 \times 10^7$ ergs.

(2) La temperatura del carbono en combustión excede ligeramente de 2.000 grados, la del agua en las calderas industriales varía entre 150 y 200 grados; resulta, pues, muy incompleto el cambio de las calorías y la caída de la temperatura por lo menos de 1.800 grados, lleva consigo una enorme pérdida de energía: esta es, según H. Le Chatelier (*Le Chauffage industriel*, página 159), del 15 al 20 por 100 en la combustión, del 45 en la caldera y del 30 en la máquina propiamente dicha. Las calorías perdidas en esta forma se van con los humos, las cenizas y restos sin quemar, condensadores, paredes, medio ambiente, etc. Respecto á la energía perdida en la máquina se disipa por los rozamiento y resistencias mecánicas que la transforman igualmente en calor, vibraciones, etc. El resultado final es que la energía recogida y utilizada excede raramente de la décima parte de la que estaba contenida en el carbón consumido.

Esta pérdida de las nueve décimas partes de la energía contenida en el carbón constituye un enorme desperdicio, porque en los 1.000 millones de toneladas (1) que se consumen en el mundo anualmente, representan $\frac{9}{10} \times 10^9 \times 1.000 \times 8.000 = 7$ millones de miles de millones de calorías, equivalentes, aproximadamente, á 3.000 millones de toneladas-metros.

Estas cantidades exceden muchísimo las magnitudes á que se está habituado para representar cantidades que se consideran imaginarias, pero puede formarse alguna idea observando que si esta energía perdida en el consumo anual de carbón pudiera transformarse completamente en trabajo, permitiría elevar su masa íntegra (1.000 millones de toneladas) á 3.000 kilómetros de altura ó á 3.000 metros una masa mil veces más pesada. En otros términos, es tal la imperfección de los medios modernos, que en todo kilogramo de carbón quemado se pierde sin recuperación la energía que sería necesaria para elevarla mil veces más, es decir, una tonelada al vértice de los Alpes! He aquí la roca de Sísifo que da vueltas á la humanidad cuando pide á sus fábricas la energía que el sol había almacenado en los tiempos primitivos.

Y aun la comparación es mucho más favorable, primeramente, porque la roca tan penosamente elevada; al caer por la acción de la gravedad, podría, por lo menos, restituir una buena cantidad de la energía exigida para su elevación, mientras que la que se disipa con la combustión se halla degradada y definitivamente perdida; luego, porque el aprovisionamiento es limitado y no se constituye de nuevo.

PORVENIR DE LA HULLA BLANCA.—Esto es justamente lo contrario de lo que pasa con la hulla blanca, que no tiene más que descender de estos mismos picos, adonde el sol la eleva gratuitamente todos los años, y de la que por medio de las turbinas se aprovecha un 80 por 100, es decir, ocho veces más que la media que los hogares térmicos retiran de la hulla. Verdad es que hasta hoy, como lo demuestran las Memorias del Servicio de las grandes fuerzas hidráulicas publicadas por el Ministerio de Agricultura, apenas se utiliza la décima parte (2) de la energía total con-

(1) Esta cantidad no es evidentemente más que aproximada, pero es la que generalmente se admite como la del actual consumo mundial de carbón. Sería preciso añadir los combustibles líquidos que tienden á ocupar un lugar cada vez más importante en la industria y que después de refinados y destilados alimentan exclusivamente todos los motores de explosión. Tienen un poder calorífico considerablemente más elevado que el carbón (10.000 á 11.000 calorías por kilogramo en vez de 8.000); prestan ya muy grandes servicios y están, sin duda, llamados á prestarlos mayores todavía en el porvenir. Sin embargo, á pesar de sus múltiples ventajas y el mejor rendimiento que pueda sacarse de ellos, no es posible figurarse que puedan jamás destronar al carbón, ni aun reducir el tonelaje de su consumo. Muchos de ellos provienen, por lo demás, de la destilación de la hulla, y forman, desde luego, parte de este tonelaje general. Igualmente sucede con los combustibles gaseosos, especialmente con el más importante, el gas del alumbrado, que proviene directamente de la hulla y no es más que uno de sus métodos de empleo. Otro tanto puede decirse del acetileno y *a fortiori* de los diferentes productos de gasógenos, cuya fabricación reposa sobre el empleo del carbón, que es preciso tomar siempre como punto de partida inicial de los combustibles industriales. Esta es la razón por qué el carbón debe de servir como punto de comparación con la hulla blanca, en este ligero resumen que aquí hacemos.

(2) Las fábricas hidráulicas existentes actualmente en los Alpes franceses dan un total de potencias un poco superior á 200.000 caballos en aguas bajas, 400.000 en aguas medias y 700.000 instalados. Es difícil valorar la cantidad total de energía que producen anualmente por causa de la gran diversidad de su respectivo régimen, pero admitiendo que su potencia media utilizada sea anualmente de cinco mil horas, no se estará probablemente muy lejos de la realidad.

Esto conduciría á

$0,735 \times 400.000 \text{ caballos} \times 5.000 \text{ horas} = 1.470.000.000 \text{ kilovatios-hora,}$
ó sea en número redondo 1.500 millones de kilovatios-hora. Ahora bien: los ensayos de recuento, algo imperfectos que sean por causa de la complejidad del asunto, conducen á fijar entre 1 y 2 millones de caballos la potencia de estiaje de las fuerzas hidráulicas de los Alpes; su potencia media es ciertamente doble, por lo menos, y contando con 3 millones de caballos, se queda-

tenida en nuestros saltos de agua; pero el día en que se hayan aprovechado todas las fuerzas hidráulicas de los Alpes franceses será lo menos unos 15 millones de millones de kilovatios-hora lo que se podrá recoger anualmente; si fuese preciso conseguir esta cantidad por medio del vapor, nuestras actuales máquinas de rendimiento ordinario devorarían para producirla unos 20 millones de toneladas de hulla, es decir, la mitad de la producción francesa antes de la guerra.

Es conveniente retener estas cifras para comparar el valor de dos orígenes de energía, para valorar como conviene la parte que todavía tiene en reserva la región de los Alpes y para decidir si el conjunto del país, los Poderes públicos y los mismos interesados han prestado toda la atención que merece este manantial de riqueza.

Su importancia es mayor á medida que la industria aumenta su producción y exige más cantidad de materias primas. El problema del carbón ocupa un lugar preponderante, su precio tiende á elevarse en todas partes y llegará á ser tan crecido, que la necesidad de hallar otros orígenes de energía será cada día más imperiosa hasta imponerse absolutamente. Entonces se pondrán de manifiesto los servicios que puede prestar la hulla blanca y habrá que arreglarse para obtener de ella lo que hasta hoy casi exclusivamente se exigía á los combustibles minerales, es decir, este calor del que actualmente se pierden las nueve décimas partes. La mayoría de las industrias modernas consumen cantidades enormes: la fabricación de una tonelada de fundición en el alto horno exige más cok que el de su propio peso, es decir, más de tonelada y media de carbón; su transformación en acero laminado ó perfilado exige casi otro tanto, de modo que cada tonelada obtenida ha consumido cerca de tres de carbón; la fabricación del cinc absorbe cinco, la del vidrio dos, la porcelana una, las cales y cementos del 12 al 30 por 100, etc.

En todas estas industrias apenas si se ha introducido la hulla blanca, y aunque no pueda por lo demás suplantar al carbón, que conservará siempre su puesto en algunas fabricaciones como origen principal de calor, adquirirá una importancia capital en metalurgia como agente reductor. Cuando se llegue á esto la economía será considerable, pero por el momento está lejos todavía: apenas si acaba de hacer su aparición la fundición sintética en el horno eléctrico, su tonelaje es todavía muy reducido con respecto al total; la electrometalurgia del acero y su afinado en el horno eléctrico están más adelantados, pero no parten del mineral y se limitan á transformar hierro viejo ó el mismo metal, de modo que la economía correspondiente de carbón no es más que parcial.

Sin embargo, desarrollándose sin cesar estos procedimientos, pueden esperarse grandes progresos en este sentido.

No sucede lo mismo, por lo menos hasta el presente, en las

otras industrias, grandes consumidoras de combustible, la del ladrillo, la cerámica, la del vidrio, la panadería, etc., que casi no han tenido contacto con la hulla blanca y que obtienen el calor que necesitan casi exclusivamente del carbón ó de la madera (1); la calefacción doméstica está en igual caso; la electrotérmica tiene, pues, un amplio campo que recorrer antes de haber elevado á su máximo esta economía del carbón y presenta para el porvenir una gran aplicación, que ya realiza en parte en la fabricación del aluminio, en el afinado del acero con el convertidor Bessemer y en todas las operaciones que exigen las calorías necesarias, no á un combustible independiente, sino á la reacción mutua de las materias en presencia. Desgraciadamente, estas operaciones se hacen en número muy limitado.

Por lo demás, ¿es preciso considerar esta economía como el objeto principal y definitivo de la hulla blanca? Ciertamente no, porque la obtención del calor no es el término final que generalmente se propone con la transformación de la energía. Únicamente pueden sus operaciones detenerse en esto, en aquellas industrias que necesitan exclusivamente el caldeo, propiamente dicho, en todas aquellas que, por el contrario, no consumen el combustible más que para realizar temperaturas necesarias para la formación de ciertos productos determinados, tienen interés en no emplear este costoso intermediario y formar estos productos por otros medios. Puede afirmarse, por ejemplo, que la fabricación electrolítica del hierro marca un progreso esencial, no solamente porque da un metal extraordinariamente puro, sino porque principalmente la energía que pone en juego sin empleo de combustible escapa á la degradación calorífica y á las numerosas pérdidas que lleva consigo. Otro tanto puede decirse de las demás fabricaciones basadas sobre la electrólisis, por ejemplo, la del cinc, cuyo desarrollo sería particularmente interesante, porque su metalurgia por los procedimientos clásicos consume una enorme cantidad de carbón.

La región de los Alpes, donde abundan los orígenes de energía naturales, puede aspirar respecto al particular á un brillante porvenir; ya ha visto crearse la industria del aluminio y la electrosiderurgia, á las cuales irán siempre unidos los nombres de Héroult, Keller, Girod y que no dejarán de progresar todavía. Desde hace ya bastante tiempo se fabrican carburos, aleados de hierro, fósforo, cloratos, etc., pero, ¿por qué no instalar industrias completamente nuevas?

No hemos pensado más que en los efectos del calor, los del frío no son menos dignos de atención. Se les aprecia mejor en otros países: Inglaterra, América, Noruega desarrollan sus aplicaciones; Alemania, tanto en este dominio como en muchos otros, ha sabido crearse una especie de monopolio para la construcción de máquinas é instalaciones frigoríficas; dedica grandes capitales y enormes superficies. ¿Por qué no habrían de servir nuestras fuerzas hidráulicas para desarrollar en nuestro país esta magnífica y fecunda industria? Sus aplicaciones son numerosas y cada día se multiplican, nada impediría su aclimatación alrededor de nuestros saltos de agua. El cinc y sus óxidos, la potasa electrolítica, el permanganato, todos los productos azoados sintéticos pueden fabricarse aquí tan bien, si no mejor que al otro lado del Rhin.

(1) La madera secada por el vacío contiene cerca del 50 por 100 de su peso en carbono y da de 4.000 á 5.000 calorías por kilogramo, pero la que se emplea en la práctica contiene siempre del 15 al 52 por 100 de agua, aun cuando se la crea muy seca. Como el estereó pesa de 400 á 500 kilogramos, puede al quemarse facilitar cerca de un millón de calorías; esto es, el producto anual de 1.500 á 2.000 metros cuadrados de bosque. Todo lo que hemos dicho respecto á las pérdidas de calorías del carbón puede aplicarse igualmente á la madera que constituye un combustible de rendimiento muy malo.

rá, sin duda, muy por bajo de la verdad. Esto corresponde á una energía total anual de

$0,735 \times 3.000.000$ de caballos $\times 8.760$ horas = 19.315.800.000 kilovatios-hora.

Podemos, pues, decir, con exactitud que no utilizamos todavía más que una décima parte de energía, como máximo, de la energía disponible en nuestros saltos de agua. Es probable, sin embargo, que no se realice nunca el aprovechamiento total por falta de acumuladores convenientes, porque no se ve, por ejemplo, el medio de poder reservar las crecidas del Isère ó del Du-rance, por muy amplios que supongamos sean los depósitos construídos por nuestros sucesores.

Tampoco se ve la posibilidad de poder aprovechar íntegramente la energía del Ródano, aun en aguas bajas, por causa de la obligación que existirá siempre de asegurar los servicios de navegación y riego, que consumen cantidades de agua considerables y procuran por lo demás ventajas no menos dignas de atención que los posibles empleos de la energía; pero dejando aparte estas reservas, no es menos cierto que quedan todavía grandes cantidades disponibles para las fábricas hidráulicas que, si se saben aprovechar convenientemente, podrán doblar la importancia, dentro de algunos años, de toda la región de los Alpes.

Esto es particularmente debido al bajo precio de coste á que resulta la energía hidroeléctrica en país montañoso, por lo que puede presumirse la fabricación en grandes cantidades de los abonos azoados sintéticos, como el nitrato de cal y de amoníaco y el cianamido. Estos productos, de los que la agricultura hace un gran consumo, podrán reemplazar á los nitratos de sosa importados de Chile, cuyo precio, ya muy elevado, aumentará más en el porvenir á medida que se vayan agotando los yacimientos.

La seda, que ha enriquecido á la metrópoli de Lyon, aprovecha mucho la energía de los saltos de agua. ¿Por qué no aprovecharla también para la lana, el algodón y otros textiles? Es la hulla blanca una mina duradera y fecunda capaz de satisfacer á todas las necesidades; es una de las riquezas de Francia y precisa aprovecharla lo más ampliamente posible para poder reemplazar al carbón que falta.

H.

El laboratorio de máquinas de Zurich

POR

D. VICENTE MACHIMBARRENA Y D. JOSE CEBADA

Ingenieros de Caminos.

(CONCLUSIÓN) (1)

SECCIÓN TÉRMICA

Comprende esta sección las máquinas cuya energía es de origen térmico, de vapor, frigoríficas ó de explosión, así como también las calderas y los gasógenos necesarios para la producción de vapor y gas para aplicaciones de esta energía.

En la galería de calderas están instaladas una caldera de hogar interior y otra pequeña vertical de la Maschinenbau-Gesellschaft, de Basilea; una pirotubular de la Schweiz Lokomotiv Maschinenfabrik, y una caldera acuotubular de J. A. Niclausse, de París. La superficie de calefacción de estas calderas son, respectivamente, 40, 5, 70 y 60 metros cuadrados, y las presiones de trabajo son de 12 atmósferas para todos los generadores, excepto para la caldera Niclausse, que puede trabajar hasta 20. Como instalación fumívora se emplea un aparato Kowitzke en el primer generador, y en la caldera Niclausse una parrilla mecánica sistema Muenckner.

La caldera pirotubular dispone de un recalentador Schwoerer, donativo del propio inventor, alojado en una caja de palastro que á voluntad se puede conectar ó desconectar del generador. Para poder regular completamente la temperatura se ha previsto un humeral complementario que pasa por el recalentador, y por donde circula un volumen, variable á voluntad, de los gases de la combustión.

Una bomba de alimentación de alta presión sistema Worthington, otra de vapor con volante de la Schweiz Lokomotiv Maschinenfabrik, y dos inyectores sistema Friedmann completan la instalación de la galería de calderas.

La de vapor comprende los siguientes motores: una máquina de vapor horizontal de triple expansión; otra vertical de dos cilindros, de la Casa Escher Wyss, de Zurich, y otra compound, regalo de la Maschinenfabrik Oerlikon.

El principal motor es la máquina de triple expansión, cuyos émbolos tienen 240, 375 y 600 milímetros de diámetro, con una carrera común de 700 milímetros, y el árbol motor da 100 revoluciones por minuto.

(1) Véase el número anterior.

Los cilindros de alta y baja presión, con volantes y demás piezas, proceden de la Casa Gebrüder Sulzer, de Winterthur, y el de media de Escher Wyss. Entre los cilindros de alta y media presión está montada en el árbol de maniobra una dinamo Thury de corriente continua y de 110 HP., construída por la Société de l'Industrie électrique, de Ginebra; y entre el de media y baja está acuñado un volante para transmisión por cable, que acciona una dinamo de corriente alterna trifásica de 50 HP., construída por la Casa Brown Boveri y C.^a, de Baden.

El árbol motor está dispuesto en dos piezas unidas por un embrague, y las comunicaciones entre los cilindros se pueden obtener, permitiendo hacer independiente la parte de baja presión, con las de media y alta presión. De este modo estas dos últimas pueden trabajar independientemente con un momento de inercia muy reducido del rotor de la dinamo de corriente continua, lo que significa una circunstancia muy favorable para los ensayos de regulación.

El cilindro de alta presión tiene distribución sistema Sulzer, con marcadores para el trazado de las curvas de elevación y descenso de las válvulas.

Este cilindro, como los demás del motor, tiene envolvente ó camisa de vapor. El vapor es admitido por la parte central, pudiendo circular ó no en la envolvente por medio de una maniobra de dos llaves de cierre. Igualmente dispone de tubos de comunicación entre el cilindro y los depósitos intermedios, de manera que accionando una llave especial de tres vías se puedan obtener en los mismos diagramas indicadores, la caída de presión en la tubería, el cilindro y el depósito ó cámara intermedia. Se pueden disponer tres grupos de émbolos distintos en este cilindro, con el fin de obtener tres valores diferentes para los espacios perjudiciales. El regulador de que dispone es centrífugo, del tipo Koller con movimiento helicoidal y vaivén del manguito.

El cilindro de presión media tiene distribución sistema Frickart. La admisión y el escape del vapor son independientes, y la compresión se realiza por medio de una doble excéntrica, pudiendo variar entre 0 y 70 por 100. Un regulador de resorte rige la distribución, que también puede maniobrase á mano.

El cilindro de baja presión tiene distribución tipo Radovanovic, con regulador de contrapeso.

Los cilindros están dispuestos de manera que el motor puede funcionar indistintamente con uno solo de ellos, con combinación de dos ó con los tres cilindros á la vez, con expansión simple ó fraccionada.

Cada regulador, por medio de un juego de transmisiones sencillas, puede actuar sobre cualquiera de las tres distribuciones.

Las manivelas de alta y baja presión son de platillo con orificio, de manera que pueden fácilmente cambiarse la carrera del émbolo, colocando los botones de las manivelas en estos distintos orificios, ó el ángulo de acuñado de las mismas.

La potencia del árbol motor se puede determinar por medio de frenos mecánicos ordinarios ó frenos eléctricos, y el trabajo transmitido por los cables se puede registrar automáticamente por un dinamómetro hidráulico suministrado por la Casa J. Amstler-Laffon, de Schaffhausen.

Haciendo trabajar la dinamo como motor, y desconectando sucesivamente las piezas de la máquina, se puede determinar, por la potencia eléctrica indicada en el cuadro, el trabajo resistente pasivo que absorbe cada elemento desconectado, así como el rendimiento orgánico total del motor.

En esta máquina se pueden realizar numerosos ensayos térmicos y dinámicos y trabajos de investigación interesantísimos.

La máquina de vapor vertical de la Casa Escher Wyss y C.^a.