

La curva hidrodinámica de Ganassini

Gaetano Ganassini, el insigne ingeniero italiano, ha muerto. Hace algo más de año y medio, junto con mi compañero Pérez Moreno, tuvimos el honor de ser atendidos por Ganassini, durante una breve estancia en Italia. Bastó este ligero trato para demostrarnos la afabilidad y cortesía de su carácter y su enorme influjo en la mayoría de los asuntos hidroeléctricos italianos, junto con un prestigio indiscutible en su especialidad. Proyectista de numerosas e importantes obras, puede decirse que era consultor de casi todas ellas. Entusiasta del tipo de presa de bóvedas múltiples, proyectó la primera de ellas, ubicada en el torrente Dolo, después de la catástrofe de Gleno. Con perfecto conocimiento de la mayor parte de las obras e instalaciones italianas, fué suficiente una carta del director de nuestra Escuela, Sr. Machimbarrera, para que fuera personalmente Ganassini el que se encargara de la organización de nuestro viaje, basando su nombre para que en todas partes se nos dieran toda clase de facilidades, llegando su amabilidad a proporcionarnos multitud de monografías, y dándonos de palabra, en su oficina técnica de Milán, explicaciones claras y sintéticas de muchas de las obras visitadas.

A él se deben multitud de ideas originales, siendo la más importante de todas la que se refiere a la "curva hidrodinámica" para el estudio de la utilización hidroeléctrica de un río principal y sus afluentes. Sean estas breves líneas una sucinta exposición de su concepción, y sirvan como tributo de agradecimiento y postre ofrenda a tan egregio colega.

En todo río, a una cierta cota h de su álveo sobre el nivel del mar fluye una cierta cantidad de agua, función de las condiciones físicas y geométricas de la superficie o extensión, que contribuye con sus aportaciones a la formación de la corriente de agua hasta aquel punto; de modo que, siendo dq la cantidad de agua que fluye en un tiempo dt , $dq = f(h) \cdot dt$.

$f(h)$ es una función compleja de las ordenadas altimétricas de los diversos puntos del álveo del río. En el tiempo dt , la cantidad de agua dq habrá recorrido un desnivel dh ; la energía elemental correspondiente a este recorrido, siendo γ el peso específico del agua, será: $\gamma \cdot dq \cdot dh = \gamma f(h) \cdot dt \cdot dh$; y dividiendo por dt , $\gamma \frac{dq}{dt} dh = f(h) \cdot dh$.

dq/dt , cantidad de agua en la unidad de tiempo, es el caudal; el producto $\gamma \frac{dq}{dt} dh$ es la potencia infinitesimal que el caudal finito dq/dt crea al recorrer el desnivel infinitesimal dh .

La potencia total que puede obtenerse en un desnivel finito ($h_1 - h_2$) entre dichas cotas altimétricas será:

$$W = \gamma \int_{h_1}^{h_2} f(h) \cdot dh.$$

La dificultad estriba en encontrar una función $f(h)$ lo suficientemente concreta y sencilla que pueda emplearse con una aproximación admisible en las aplicaciones prácticas.

Pero si el análisis se ha mostrado incapaz e insu-

ficiente para conseguir tal fin, la integración gráfica ha proporcionado un medio precioso para llegar a determinaciones numéricas que caen dentro de las aproximaciones admisibles en la práctica.

Si se construyera un diagrama que tuviera por abscisas las cotas altimétricas decrecientes del álveo del río, y por ordenadas las magnitudes representativas de las disponibilidades hídricas correspondientes, tendríamos la traducción gráfica de la función $f(h) = Q$, siendo Q una medida de la cantidad de agua. El área progresiva de la curva, o sea $\int Q dh$, suma de productos de cantidades de agua por desniveles, representaría la expresión de la energía hidráulica total disponible en un trozo finito de río.

Prácticamente, para encontrar esta curva se considera el fenómeno de la aportación hídrica como función de dos magnitudes típicas y de un parámetro experimental; son las primeras el *área de la cuenca* y la *altura de lluvia*, y el segundo, dependiente de la naturaleza física de la cuenca, es el *coeficiente de escorrentía*.

La curva de las áreas progresivas de la cuenca, tomando como abscisas las cotas decrecientes del álveo del río, es la *curva hidrodinámica*, que se construye sencillamente, mediante los datos proporcionados por una serie de superficies en un plano con cotas y curvas de nivel de la cuenca considerada.

Tomando como origen el punto en el cual se presume pueda empezar la utilización hidráulica, considerando como abscisas las cotas decrecientes de su álveo, y como ordenadas las áreas de la cuenca, obtendremos una curva de ordenadas siempre crecientes, que será la curva hidrodinámica; su área representa el producto de una superficie de cuenca (km^2) por un desnivel (m), cuyo producto se llama *valor hidrodinámico*, expresado en unidades de m/km^2 .

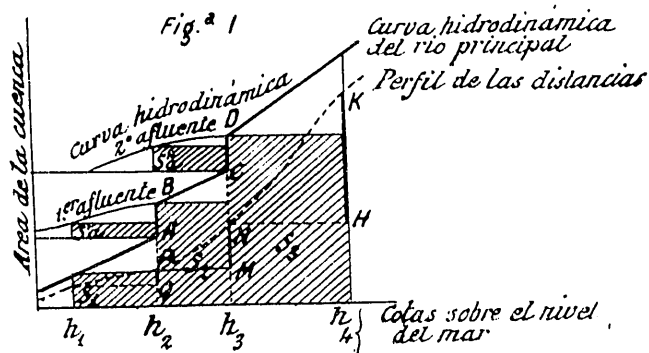
De este valor hidrodinámico podemos deducir la energía disponible, cuando además conozcamos la cantidad de agua; refiriéndose a la alimentación principal, o sea por agua de lluvia, y suponiendo, por ejemplo, que sea 1 m la altura media anual de precipitación atmosférica y 0,80 el coeficiente de escorrentía, en un año, a cada m/km^2 del valor hidrodinámico corresponderá: $1 \times 0,80 \times 10^6 = 800\,000$ toneladas por metro de energía disponible; recordando que 1 kWh equivale a 367,2 T/m, tendremos una energía disponible de 2 178 kWh teóricos, y tomando un rendimiento global de 0,70, 1 524 kWh.

Trazada la curva hidrodinámica (fig. 1) de una cuenca que será siempre creciente, se puede estudiar sobre ella la mejor utilización del curso de agua.

Una derivación prácticamente concebida parte de una cota h_1 del álveo del río, utiliza todo el caudal disponible (aquí entra en juego la variación en el tiempo de la distribución) y restituye el agua en un determinado punto de cota h_2 , utilizando el desnivel ($h_1 - h_2$). El caudal derivado, a menos del parámetro mencionado, está definido por el área de la cuenca (proporcional a ella), es decir, por la ordenada de la curva hidrodinámica en la abscisa h_1 ;

gráficamente, por tanto, sobre la curva hidrodinámica, una derivación estará representada por un rectángulo que tiene un vértice sobre dicha curva en el punto de abscisa h_1 , y por lados, el desnivel $(h_1 - h_2)$ y la extensión de la cuenca alimentadora captada, es decir, la ordenada de la curva hidrodinámica en el punto de abscisa h_1 (fig. 1).

Cuando el curso de agua tiene afluentes de alguna importancia conviene completar la representa-



ción gráfica con las curvas hidrodinámicas de estos afluentes; para claridad de representación se toman como ejes de abscisas para estas últimas curvas una paralela al eje primitivo en la extremidad de la ordenada de la curva hidrodinámica del río principal correspondiente a la abscisa que representa la cota donde desemboca el afluente.

En el ejemplo representado son dos los afluentes que desembocan a las cotas h_2 y h_3 ; naturalmente que, en correspondencia a estas abscisas, la curva hidrodinámica del río principal tiene un trozo vertical, consecuencia de la aportación brusca en este punto de la cuenca del afluente; en el gráfico hay representadas tres derivaciones de saltos $(h_1 - h_2)$, $(h_2 - h_3)$, $(h_3 - h_4)$; la cuenca alimentadora de la primera derivación es S_1 , a la que habrá que agregar, para el estudio de la utilización total a la cota h_1 , la correspondiente al primer afluente S'_a (ex-

tensión de la cuenca aprovechada en el afluente a la cota h_1); análogamente, para la segunda derivación tendremos la extensión S''_a ; en conjunto, los valores hidrodinámicos de las tres derivaciones estarán representados por: $(S_1 + S'_a) (h_1 - h_2)$; $(S_2 - S''_a) (h_2 - h_3)$; $(S_3 - S''_a) (h_3 - h_4)$, y en la figura, por las áreas rectangulares rayadas.

La representación gráfica se puede completar con el perfil de las distancias, curva que, referida a las mismas abscisas, lleva por ordenadas las longitudes desarrolladas del álveo del río; con esta curva puede deducirse la pendiente media del río, y tener, por tanto, un índice aproximado del desarrollo específico del canal (desarrollo por metro de caída utilizado).

En la figura, el perfil de distancias se ha dibujado de trazo; el desarrollo del álveo resulta de QP para la primera derivación, MN para la segunda y HK para la tercera.

La construcción preliminar de la curva hidrodinámica ofrece la ventaja de poder evaluar con una cifra concreta la extensión de la utilización proyectada en una cuenca, por compleja que ésta sea; esta cifra se obtiene como la relación entre la suma de las áreas de los rectángulos de las derivaciones y el área total de la curva; esta relación representa el coeficiente de utilización hidrodinámico del conjunto de las instalaciones proyectadas.

La curva hidrodinámica, además, proporciona el medio o modo de comparar las riquezas hidroeléctricas relativas de diversas cuencas, mediante el coeficiente de bondad que caracteriza la morfología de dicha curva y que viene definido por la relación entre el área efectiva de la curva hidrodinámica y el área del rectángulo, que tiene por base y altura, respectivamente, la abscisa y la ordenada del punto extremo de la curva; este valor depende esencialmente de la configuración de la cuenca; en las formas más sencillas y generales de cuencas rectangulares, triangular divergente y triangular convergente con pendiente uniforme, fácilmente se deduce dicho coeficiente, que vale $1/2$, $1/3$ y $2/3$.

José GARCIA AUGUSTIN
Ingeniero de Caminos

Carreteras y ferrocarriles

"Una era nueva empezará para los transportes. Los ferrocarriles dominarán a las carreteras."

Shapnell-Smith.

I

Estamos en esa era, en que el automóvil, nueva máquina en la industria del transporte, se ha perfeccionado de tal modo, que su trabajo aumenta de día en día la producción del transporte por carretera, en términos que, haciendo en muchos casos la competencia al ferrocarril, ha producido esa depresión en la producción de este último medio, invadiendo el pesimismo a las Empresas y Estados que explotan las líneas y exagerando algunos el alcance de esta competencia, hasta llegar a pensar en el abandono de los ferrocarriles o en la necesidad de poner trabas al trans-

porte automóvil por carretera. ¡Vano empeño este último recurso! En toda industria, en toda fábrica, la nueva máquina se impone y se estabiliza si es factor de aumento de producción, y llega hasta aquel límite en que es más útil que las antiguas instalaciones; pero llegando a ese punto, convive con los anteriores medios de producción, que, a su vez, se reforman para rendir más, dentro de su finalidad. Esta es la ley del progreso industrial y contra ella ni valen cortapisas ni se deben desatender sus enseñanzas. No es de extrañar, por eso, que uno de los campeones más entusiasta de las carreteras y del transporte por ellas haga la afirmación que transcribimos encabezando esta nota: "los ferrocarriles dominarán a las carreteras".

El camino está iniciado para la adaptación de uno y otro medio de transporte al aumento creciente de pro-