

## 2. Prospección de emplazamientos.

El reconocimiento de emplazamientos de presa para establecer un plan de aprovechamiento hidráulico precisa de métodos simplificados de actuación rápida y económica. La ejecución de sondeos mecánicos y galerías tiene que limitarse todo lo posible, así como los programas de reconocimiento geofísico y geomecánico deben reducirse a sus elementos esenciales.

En la mayor parte de los casos la prospección se desarrolla siguiendo las etapas siguientes:

1. *Estudio geológico* desde el punto de vista geomecánico y de permeabilidad.
2. *Reconocimiento mecánico sumario* fundado en el estudio de muestras y el empleo de métodos geofísicos sismoelásticos en correlación con ensayos más completos en pequeño número.
3. *Evaluación de las condiciones de fundación*

en forma aproximada para obtener resultados relativos.

4. Ejecución de algunos *ensayos y sondeos de control y verificación* para asegurar la definición de la solución más favorable.

Las figuras 3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup> corresponden a los estudios de prospección para la elección de emplazamiento de presa en el río Lor (Galicia) y en el Dilar (Sierra Nevada, Andalucía). En ambos casos los resultados más interesantes se obtuvieron por la combinación de un estudio geológico cuidadoso con ensayos sismoelásticos y algunas medidas geofísicas.

La mayor parte de los aprovechamientos actualmente en proyecto o construcción han sido estudiados en España por estos procedimientos. Podemos citar entre otros los aprovechamientos del Sil y sus afluentes, del Narceo y Sella, del Tajo, del Genil y sus afluentes, del Guadiana Menor e importantes tributarios del Ebro, que descienden del Pirineo, tales como el Alto Gállego, Cinca, Esera y Noguera Pallaresa.

## II. ESTUDIOS HIDRAULICOS

*Con la colaboración de*

ANGEL DEL PALACIO SANMIGUEL

De la Jefatura de Obras Públicas de Madrid.

Dentro de los ensayos referentes a presas en el más amplio sentido de la palabra, se ha creído oportuno comentar, siquiera brevemente, ya que no tratar, tres tipos de ellos que, no por menos frecuentes, dejan de ser altamente interesantes.

Nos referimos a la determinación de características elásticas del material del macizo de la obra, bien en probetas, utilizando procedimientos no destructivos; al estudio de las características de un embalse como refrigerador de los condensadores de una central térmica inmediata, y, finalmente, al estudio aerodinámico de estructuras bajo la acción del viento.

Seguidamente vamos a tratar brevemente de los principales aspectos de estos tres tipos de ensayos.

La ventaja de un procedimiento que permite la determinación de las características elásticas de cualquier material sin destruir la probeta o incluso *in situ*, no es necesario destacarla; su rapidez y comodidad son notorias y, especialmente, si se considera que en cualquier macizo o estructura esta determinación puede hacerse directamente, es evidente que el procedimiento es óptimo.

En el caso de probetas, en resumen el método consiste en hallar su función propia, lo que permite, sabiendo que esta es función de sus dimensiones geométricas, de la densidad del material y de su módulo de elasticidad, hallar fácilmente éste por simples operaciones aritméticas, ya que las dos primeras variables son fácilmente determinadas.

Para hallar esa frecuencia la probeta, apoyada elásticamente, es excitada, de acuerdo con el esquema siguiente, por un dispositivo electromagnético alimentado, a través de un amplificador, por un oscilador de frecuencia variable.

Las vibraciones del excitador son transmitidas a la probeta y, propagándose por ésta, son recibidas en un captor, también electromagnético, que convierte su energía en tensiones aplicadas a un oscilógrafo.

Variando la frecuencia del oscilador se hallará una determinada, para lo cual la amplitud de la señal, observada en el oscilógrafo (o milivoltímetro a válvula) es máxima frecuencia que será, precisamente, la de resonancia de la probeta. Así, pues,

conocida esta frecuencia puede hallarse fácilmente el módulo de elasticidad. La existencia en aquélla de firmes o, en general, superficies de discontinuidad elástica, son fácilmente puestos de manifiesto, por sus ecos u otros fenómenos, pudiendo eliminarse esas posibles causas de error.

El procedimiento y el equipo son simples, fáciles de manejar, de poco costo, volumen y peso, lo que, unido a que la exactitud es muy notable, ponen este procedimiento realmente práctico y eficaz. En la figura 1.<sup>a</sup> se presenta una vista de un equipo.

Las grandes centrales térmicas requieren para la

matemática ya que, aparte de su complejidad (regímenes de carga de la central, y embalse y desembalse, temperaturas ambientes, fuerza y dirección del viento, humedad, presión atmosférica) resulta imposible establecer las características del intercambio de calor dentro de la masa líquida (corrientes de comunicación, regímenes laminar o turbulento, disipación por transmisión directa, etc.).

Existen algunos trabajos teóricos sobre la materia, partiendo de los cuales se han obtenido unos diagramas y fórmulas empíricas, aplicables en el caso de lagos, esto es, sin intercambio de masas lí-

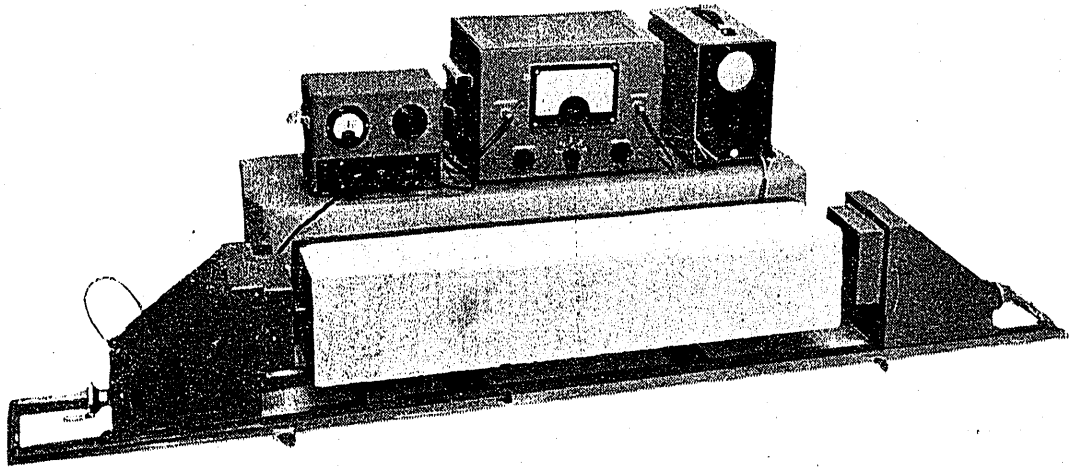


Foto 1.

adecuada refrigeración de los condensadores de turbinas caudales de agua verdaderamente importantes (unos 16 m.<sup>3</sup>/seg. para 500 MW.), lo que obliga a emplazarlos en las inmediaciones de un río con caudal regulado importante, o bien de un lago natural o artificial. La refrigeración artificial del agua de refrigeración suele ser costosa y más o menos complicada, resultando prácticamente prohibitiva para grandes potencias. Si se puede disponer del agua fluente de un río con el caudal necesario asegurado no hay problema, ya que bastará con derivar el caudal necesario, haciéndolo pasar por los condensadores y devolverlo al río, aguas abajo, teniendo siempre la dotación necesaria de agua fresca. Ahora bien, si se trata de utilizar como refrigerante las aguas de embalse o lago, con aportaciones no regulares o sin aportación alguna, cabe preguntarse si al cabo de cierto tiempo se producirá un desequilibrio desfavorable entre las cantidades de calor cedidos a la masa líquida, por las aguas calientes de retorno, y la disipación de aquellas que notablemente se establece por evaporación o por aportaciones de agua fría y salidas de agua caliente, el problema de hallar un balance energético no tiene solución

quidas y con limitación de considerar sólo algunas de las variables.

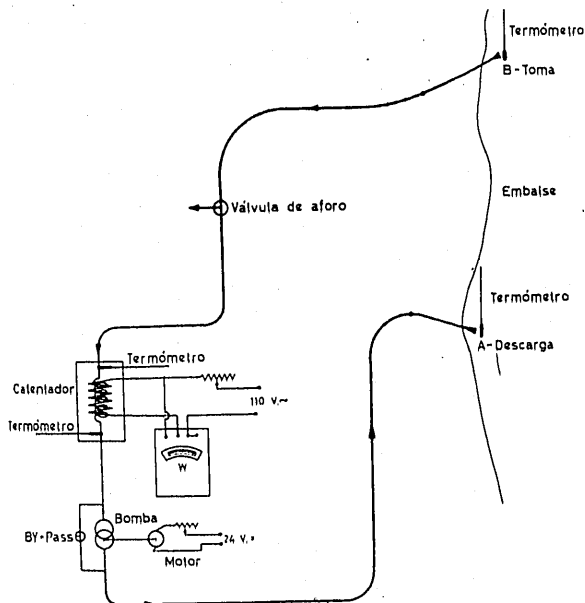
Construyéndose la central térmica de Compostilla II, con potencia instalada de 500 MW., próxima al embalse de Bárcena, sobre el río Sil, se planteó el problema antes indicado de conocer la capacidad de refrigeración del citado embalse, con volumen de 103 Hm.<sup>3</sup>, realizándose para ello un ensayo termodinámico en modelo reducido, en el que se han tenido en cuenta las siguientes variables:

Cota máximo embalse .....	620
Idem íd. íd. ....	580
Temperatura ambiente máxima ....	25° C.
Idem íd. mínima .....	5° C.
Humedad relativa media del aire...	65 por 100.
Cantidad de calor a disipar .....	163.800 Kcal./seg.
Aportaciones del Sil .....	Variables.
Desembalse .....	Variables.
Caudal de refrigeración .....	16 m. <sup>3</sup> /seg.

En general, los ensayos se realizaron en las condiciones más desfavorables, o sea cota de embalse mínima, temperatura ambiente máxima, plena car-

ga de central y aportación del Sil nula, así como aire en calma.

El dispositivo de ensayo se presenta en el croquis siguiente:



Esquema general de la disposición de ensayo.

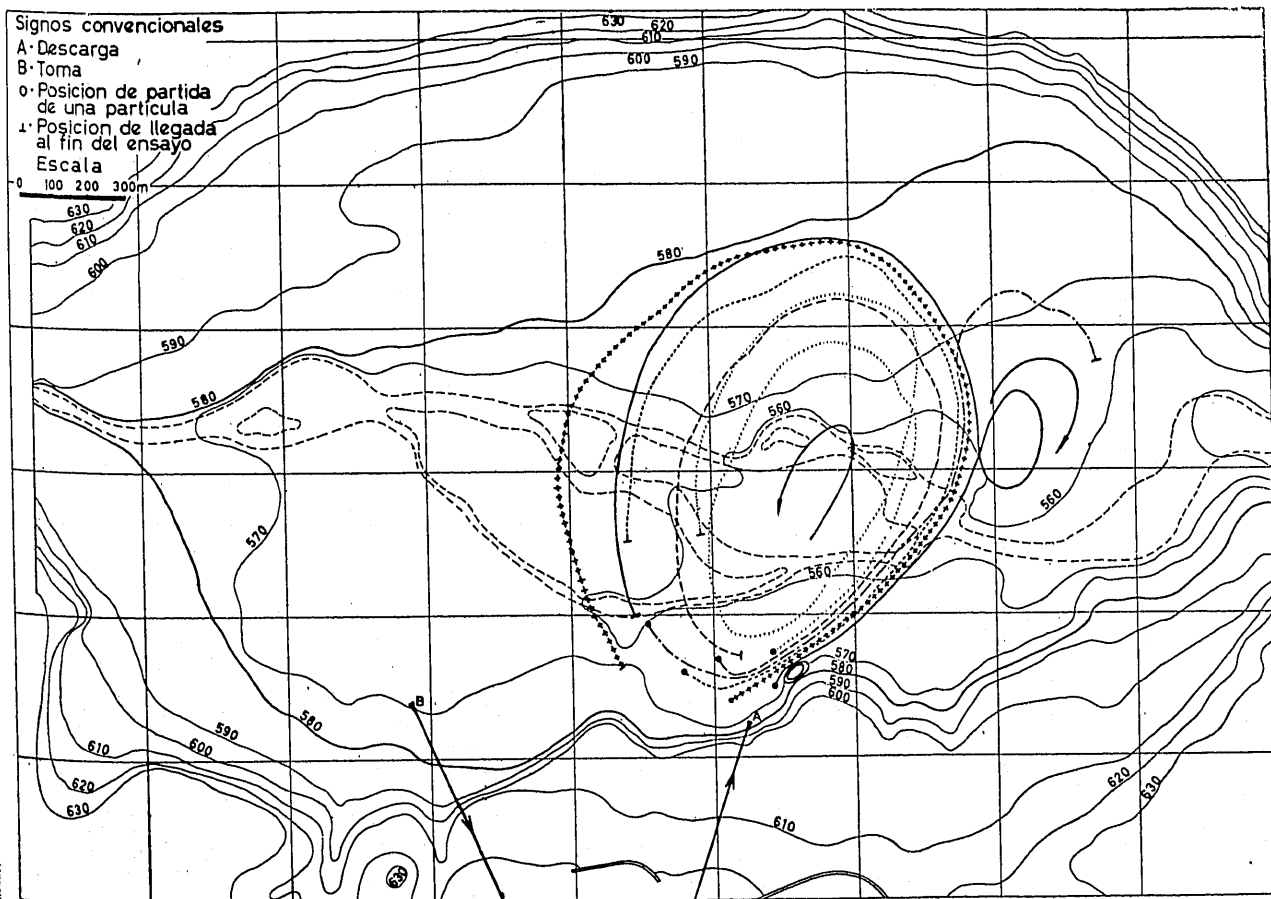
Con el que pudieron regularse fácilmente los caudales y cantidades de calor.

En el modelo se estudiaron las circulaciones, puestas de manifiesto por medio de colorantes y flotadores fotografiados sucesivamente, y también las isotermas, por una numerosa serie de medidas de temperatura en el embalse, en los gráficos siguientes se aprecian las circulaciones principales y las isotermas de unas de las hipótesis de ensayo.

Las consecuencias que del ensayo parecen poder deducirse son las siguientes:

En primer lugar se ha apreciado que el funcionamiento hidrodinámico de la toma no resulta prácticamente modificado por el hecho de establecerse un circuito de agua caliente por el embalse. El régimen es laminar, sin turbulencia apreciable, existiendo una distribución de velocidades análoga al caso del sumidero, sin corrientes de convección observables y temperaturas uniformes en sus proximidades.

En el régimen en la descarga, por el contrario, tiene una influencia notable la diferencia de temperaturas entre la de la masa del embalse y la del chorro de descarga, existiendo notables corrientes ascendentes de convección que incurvan el chorro hacia la superficie, con un fuerte gradiente térmico y



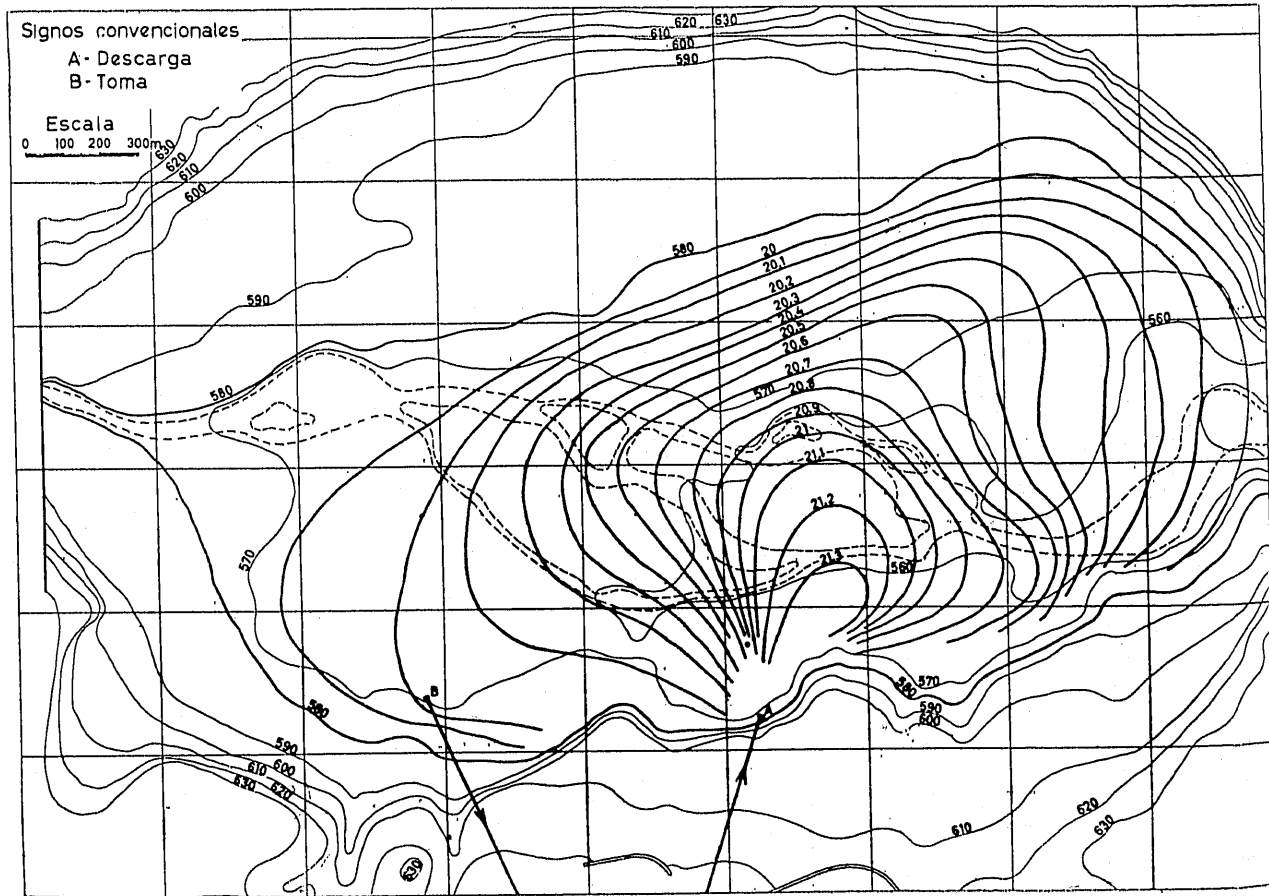
turbulencia acusada, con notable intercambio de calor entre el chorro y la masa del embalse.

La circulación en el embalse corresponde a un gran remolino, cuyo centro queda sensiblemente en la prolongación del eje de la descarga y hacia el centro del embalse, con sentido de rotación sinistrorsum y en el que las velocidades reales son muy reducidas, no sobrepasando los 0,10 m./s. las más

tadas por el remolino, fuera del cual, como se ha dicho, no existe una clara circulación entre descarga y toma de agua, aunque sí un intercambio en área más extensa.

Como consecuencia de ello, la situación en planta de la toma, dentro de ciertos límites, resulta prácticamente indiferente, a los efectos considerados.

Por lo que respecta al ensayo térmico, con em-



elevadas, siendo en general despreciables; el área alcanzada por el remolino no llega a alcanzar a la toma, o al menos no se aprecia.

Aclararemos que se ha hecho uso del substantivo "remolino" como vocable que puede definir mejor el tipo de circulación, pero no corresponde con la idea de turbulencia altas velocidades, el régimen es tranquilo y las velocidades reducidas.

No existe, pues, una neta y clara circulación o corriente entre descarga y toma, si bien existe, desde luego, equilibrio de masas, puesto que cada molécula absorbida por la toma es sustituida en el conjunto del embalse por otra lanzada por la descarga, pero éstas permanecen largo tiempo en el embalse, el suficiente para que la toma absorba las no afec-

balse a cota 580 y en las condiciones más desfavorables, se ha observado que la disipación del calor se realiza principalmente, en un área relativamente reducida, próxima a la descarga, con fuerte gradiente térmico, que se reduce muy notablemente a unos 400 m. ( $1^{\circ} \text{C.}/500 \text{ m.}$ ), siendo casi inapreciable en el centro del embalse ( $1^{\circ} \text{C.}/1500 \text{ m.}$ ) para incrementarse algo en la ladera opuesta, precisamente por efecto de ella y reducción de la profundidad de fondo. En estas condiciones el aumento de temperatura en la toma, como consecuencia del calor aportado al embalse, puede fijarse en  $2^{\circ} \text{C.}$  Las isotermas halladas resultan regulares y su distribución normal.

Con embalse a cota 600 se aprecia que las isotermas resultan más disimétricas y netamente orient-

tadas hacia aguas abajo, posible y simplemente por efecto del espigón existente cerca de la descarga. Igualmente que en el caso anterior existe una zona próxima a la descarga en que se produce la disipación de la mayor parte del calor, con fuerte gradiente, del orden de  $8^{\circ}$  C. en 150-200 m., habiéndose hallado que en este caso el aumento de temperatura en la toma no pasa de  $0,5^{\circ}$  C.

Si bien las isotermas resultan disimétricas, por el contrario, la expansión de las masas de agua caliente resulta más regular, no coincidiendo su distribución con la de las isotermas, lo que parece demostrar la existencia de transferencias o intercambios de calor por conductividad térmica sin correspondencia con movimientos de masas.

Cuando la lámina de embalse alcanza la cota máxima se observa una tendencia al desplazamiento hacia el centro del embalse de la zona de disipación más enérgica del calor, produciéndose, además, esa disipación en su mayor parte en el seno de la zona líquida, sin que hayan llegado a apreciarse temperaturas altas en superficie.

La forma general de las isotermas se modifica en el sentido de orientarse netamente según el eje de la descarga, adoptando forma alargada y transversal al embalse, con extensión lateral mucho más reducida. Parece deducirse de ello que, al estar rodeado de una manera más uniforme, el chorro de agua caliente por masas líquidas frías, su expansión se realiza más uniformemente en planta y alzado. Tampoco en este caso existe una clara corriente entre descarga y toma.

El resultado más importante era la comprobación de la capacidad de disipación del calor total en marcha continua en caso de embalse bajo (cota 580) en verano ( $22^{\circ}$  ambiente) con humedad ambiente de 80 por 100 y sin viento ni aportaciones del río Sil. Este ensayo permitió comprobar que si esta situación se supone prolongada varias semanas la refrigeración funcionaría bastante alejada de sus temperaturas normales. El calentamiento del agua del embalse llega a ser muy apreciable. Pero no suponemos que en la realidad vaya a producirse este conjunto pésimo de fenómenos durante períodos de más de seis a diez días.

Como conclusión final se llegó a la de que el embalse es suficiente para una refrigeración perfecta que sólo sería escasa si sólo se prolongara la situación más desfavorable antes indicada, fenómeno extraordinariamente poco probable.

\* \* \*

Dentro de los ensayos de estructuras bajo la acción del viento, últimamente y aparte del de la monumental Cruz de los Caídos, se ha realizado el de las torres de iluminación de la presa de Buendía, del que se tratará brevemente.

De todos es conocido el fenómeno de la formación de remolinos de estela (von Kármán) a sotavento de cualquier cuerpo introducido en el seno de un fluido en movimiento. La separación de estos remolinos da lugar a unas acciones mecánicas que solicitan la pieza o estructura transversalmente a la dirección de la circulación con una intensidad y con una frecuencia determinados. Así, pues, la obra queda sometida a unas sollicitaciones periódicas, pudiendo producirse fatigas anormales si se presenta resonancia entre la frecuencia propia de la estructura y la de la sollicitación. Es evidente, pues, el interés de conocer las frecuencias de sollicitación, al menos con las velocidades de viento más probables, para poder establecer acertadamente los coeficientes de seguridad dinámica.

Por otra parte, la estructura queda sometida a empujes en su cara de barlovento y a succiones en el de sotavento que, para algunas formas, pueden ser calculados pero que, para otros, su cálculo es muy impreciso, requiriendo su determinación en túnel aerodinámico.

En el caso de que se trata se han determinado las frecuencias de despegue de los remolinos de estela, para una serie de velocidades de viento y en varias direcciones, ya que la estructura no es un sólido de revolución; su sección es rectangular.

Por lo que se refiere a acciones debidas a empuje de viento, se ha ido a la determinación directa de los momentos producidos en la estructura, método original que elimina cálculos y medidas engorrosas, tales como la determinación de presiones, positivos y negativos, en una serie de puntos, su integración y la determinación de momentos a que su resultante da lugar.

Esa determinación directa de momentos se ha realizado con auxilio de extensómetros y por medios electrónicos, hallándose los correspondientes a varias secciones de la estructura y bajo distintas direcciones de viento. Ha de señalarse que, en contra de lo que a primera vista pudiera parecer, los momentos máximos no se producen cuando la superficie normal al viento es máxima, sino que se presenta cuando la dirección del viento forma con la normal al lado mayor de la sección un ángulo de  $15-20^{\circ}$ .

Ello se explica por el hecho de ser la sollicitación total la suma de dos acciones principales: empuje y arrastre viscoso en la capa límite, siendo el primero máximo y cuando la superficie opuesta al viento es también máxima, y el segundo máximo cuando la superficie paralela al viento es máxima. Así, en el caso de una placa paralela a la corriente los empujes son mínimos y los arrastres máximos, ocurriendo lo contrario cuando la placa es normal.

La superposición de una y otra acciones da, pues, lugar a que el momento máximo no se presente con direcciones de viento normales a las caras.

La determinación de las frecuencias de sollicitación por remolinos de von Kármán se realizó también por medios electrónicos, poniéndose de manifiesto la gráfica correspondiente con auxilio de oscilógrafos y registrándose sobre película. Es evidente

el interés del estudio que permite la obtención de una serie de datos imposibles de calcular teóricamente o bien objeto de un cálculo muy laborioso y no seguro.

Deseamos que las ideas expuestas puedan ser de alguna utilidad, habiéndonos extendido, quizá en demasía, pero ello ha sido con el exclusivo fin de una mejor comprensión.

### III. ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN MODELOS HIDRAULICOS

*Con la colaboración de*

FELIPE FERNANDEZ BOLLO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

#### 1. Estudio experimental de las presiones rápidamente variables.

En los ensayos realizados para el estudio en modelo reducido de las chimeneas de equilibrio, es necesario la determinación de presiones y su variación, con dispositivos que tengan la menor inercia posible.

De acuerdo con estas necesidades, se ha construido un equipo, formado por un oscilógrafo para el registro de las variaciones de presión y una célula para toma de presión; para lograr una inercia mínima, se ha reducido la parte móvil de la membrana y armadura de un condensador, de manera que, al actuar la presión sobre la membrana, varía la capacidad del condensador. También se ha logrado reducir el tamaño de la célula, aun incluyendo el circuito de amplificación en su interior.

El empleo de equipos múltiples permite el registro simultáneo de las presiones en diversos puntos del modelo ensayado. La película fotográfica obtenida del registro de presiones, facilita el estudio para las variaciones rápidas del régimen de utilización de la chimenea. Otra aplicación interesante de estos equipos es el estudio de cavitaciones, tanto en los ensayos realizados a presión normal, como en los realizados con presión modificada.

En la figura 1.<sup>a</sup> aparece la fotografía de un equipo de registro de presiones, utilizándose en un modelo de chimenea de equilibrio construido en plástico.

#### 2. Estudio sobre vertederos.

En el estudio en modelo reducido sobre vertederos; tendremos en cuenta que las acciones predo-

minantes, tanto para la circulación como para el lanzamiento en el caso de trampolines, son las derivadas de la gravedad y de la inercia; por consi-

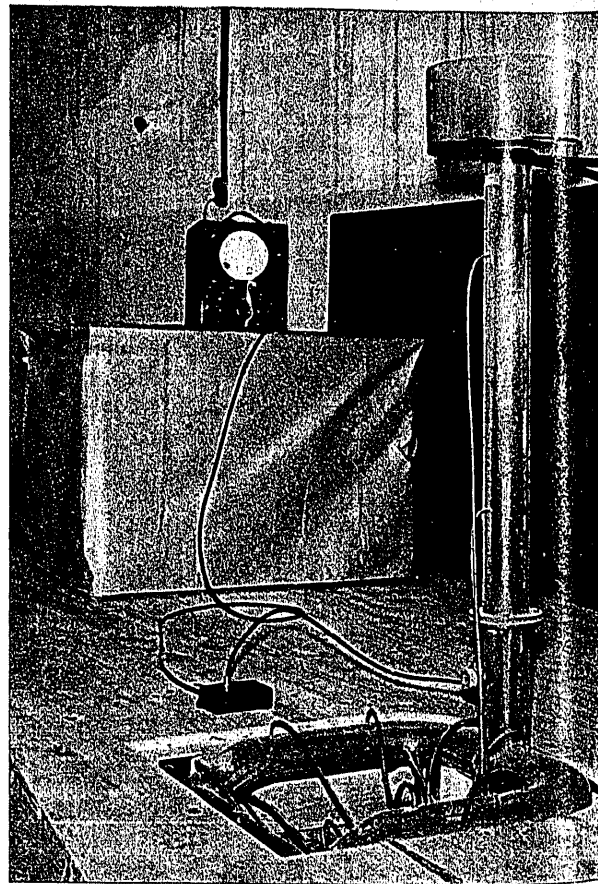


Figura 1.<sup>a</sup>