

# EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA DEL MAR

## NOTAS SOBRE EL DESARROLLO DE LAS IV JORNADAS DE HIDRAULICA, ORGANIZADAS POR LA SOCIEDAD HIDROTECNICA DE FRANCIA

Por ANTONIO MARTINEZ CATTANEO y EUGENIO VALLARINO,

Ingenieros de Caminos.

*Los autores resumen los asuntos de más interés tratados en estas sesiones. Principalmente, exponen los resultados referentes a la utilización industrial de la energía de las mareas y de las olas, así como de la energía térmica del mar. La energía de las mareas es económicamente utilizable en Francia, donde está en curso de construcción la central del estuario del Rance. También es rentable el aprovechamiento de la energía térmica del mar en zonas cálidas. En cambio, la energía de las olas, utilizable técnicamente, conduce a resultados económicos inadmisibles.*

Es conocido el enorme aumento en el consumo de energía eléctrica en el mundo entero, que se viene desarrollando más o menos según la ley exponencial que duplica el consumo cada diez años, ley experimental aproximada que se verifica de forma curiosa cualquiera que sea el nivel del consumo: es decir, que, por ejemplo, en Portugal se cumple aproximadamente, y lo mismo en el Canadá, en que el consumo es 40 veces mayor que en Portugal. Esto lleva a todas las naciones a desarrollar cada diez años un programa de centrales eléctricas de tal envergadura que equivalga, más o menos también, a la producción de la fecha en que tal programa se inicie: es decir, que si, por ejemplo, en España tenemos actualmente un consumo de 12.000 MKwh., en los próximos diez años hemos de construir centrales eléctricas para producir otros 12.000 MKwh./año.

En estas condiciones, ninguna fuente de energía puede ser considerada como despreciable, y esto a pesar de que, junto a las fuentes clásicas de producción de energía eléctrica, cuales son las centrales hidroeléctricas y las térmicas, con combustibles líquidos, sólidos o gaseosos, se venga en el momento actual a unir, con gran esperanza, la posibilidad de producción en las centrales nucleares en bastante y avanzado grado de perfección técnica, pero todavía con escaso conocimiento, en el orden económico, de su coste de explotación, rentabilidad, etc.

Por todo ello, no debe despreciarse, sobre todo en el campo experimental, el estudio y análisis de las demás fuentes de producción de energía eléctrica, tales como el aprovechamiento de la energía mecánica del viento o bien la energía del mar procedente de las mareas, de las olas o de origen térmico dentro del mismo.

Cuanto decimos justifica el programa de las IV Jornadas de Hidráulica convocadas por la Sociedad Hidrotécnica de Francia, celebradas en Saint Malo y París entre los días 10 y 15 del pasado mes de junio, y a cuyas visitas y reuniones han asistido los autores de este artículo en representación del Instituto Nacional de Industria.

A continuación vamos a dar un resumen en forma sucinta de las principales materias tratadas en las sesiones de trabajo, que se repartieron entre los tres temas en que se subdividía la principal y general de "la energía del mar", a saber: energía mecánica de las mareas y de las olas y energía térmica, y dentro de cada uno de ellos: su estado y naturaleza, los ensayos sobre modelos, utilización de la energía y sus efectos perjudiciales.

### **Energía de las mareas.**

El objetivo principal de las Jornadas puede decirse que era el estudio de las mareas y, más concretamente, de su utilización industrial. Esta técnica está ya en Francia en un momento de realización práctica, y ello ha dado a esta parte del estudio de la energía del mar un aspecto mucho más pragmático, traduciéndose en exposiciones más amplias y numerosas, fruto de estudios realizados por equipos que llevan dedicándose a este asunto varias décadas.

La aportación fundamental fué francesa. Hubo una interesante comunicación inglesa sobre la posible central mareomotriz del Severn, que llegaba a la conclusión de que con los precios actuales de la construcción y del carbón no resultaba económica la construcción de esta central. Sin embargo, es curioso hacer observar que los autores de esta comunicación, F. Kennedy y H. Headland, obtienen la conclusión de que si se hubiera construido en 1933 ó 1935, pagaría hoy día dividendo.

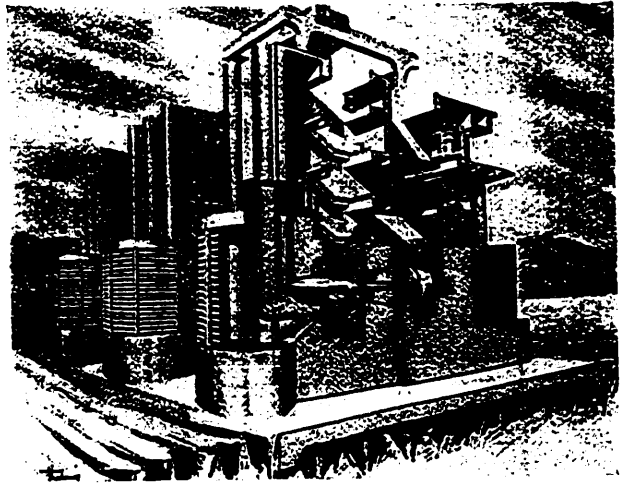
Otra comunicación interesante ha sido la de F. J. de Vos, en la que expone los estudios realizados sobre la posibilidad económica de utilizar los diques que se proyectan en las bocas del Escalda y del Rhin (que fundamentalmente servirán para proteger las islas de la desembocadura), obteniendo también energía de las mareas. El resultado económico ha sido negativo. Es de señalar que las carreras medias de marea en esta zona son del orden de 2,25 a 3,75 m.

En cambio, los resultados obtenidos en Francia son netamente diferentes. Empecemos por decir que toda la zona del canal de la Mancha goza de una amplitud de marea realmente excepcional, pues llega a 13.40 m. en marea viva equinoccial máxima en el Mont Saint Michel. Esto sitúa a esta costa en condiciones notablemente ventajosas para pensar en un aprovechamiento de este tipo, unido ello a que las profundidades son relativamente moderadas, pues, como es sabido, el canal de la Mancha es una zona continental sumergida.

#### NUEVOS TIPOS DE GRUPOS GENERADORES. - ENSAYOS

La técnica francesa ha hecho un verdadero esfuerzo para lograr unos tipos de máquinas más adaptados a saltos de altura muy reducida. La innovación ha consistido en disponer los grupos con eje horizontal paralelo al movimiento del agua. En uno de los tipos el alternador está encerrado en una carcasa metálica hermética que es completamente rodeada por el agua que sale de la turbina. Esto permite refrigerar el alternador, pero por otra parte crea un inconveniente, por la posibilidad de condensaciones, lo cual ha sido resuelto empleando como elemento conductor del frío el aceite. Estos grupos son llamados "bulbo". Hay otro tipo que difiere de éste en que el alternador, en lugar de llevar una carcasa metálica, está alojado en un pozo que a su vez también es rodeado por el agua que sale de la turbina. En este segundo tipo el alternador es de forma clásica, incluso su refrigeración. En ambos tipos el alternador es accesible directamente desde fuera. Asimismo es fácil desmontar el alternador o la turbina separadamente en el tipo pozo y el conjunto entero del bulbo en el tipo de este último nombre.

Estos nuevos tipos de maquinaria han permitido una considerable reducción en los costes de la misma y en las obras necesarias para alojarla, así como en la superestructura de la central. Y es asunto fundamentalmente importante, puesto que el tamaño que

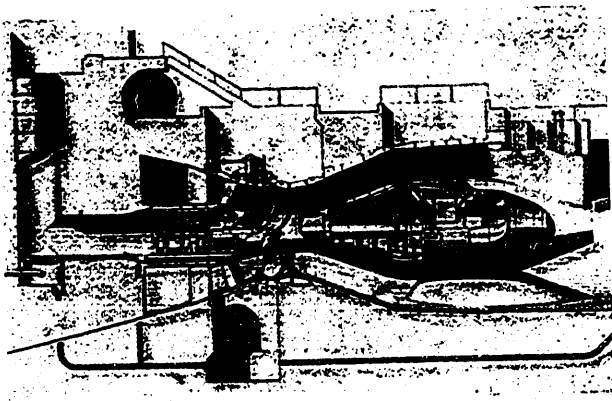


Central de Argentat. Grupo tipo pozo.

resulta para las turbinas, unido a la lentitud del giro en saltos inferiores a 13 m., eleva considerablemente tanto el coste de la maquinaria como las obras de la central. Por esto, Electricité de France ha dedicado una atención especial a este asunto, contando con una colaboración verdaderamente eficaz de los constructores franceses. Y exponente elocuente de esta preocupación por lograr el tipo más adecuado a esta clase de aprovechamientos son los ensayos efectuados en dos centrales del Sistema del Macizo Central. Las centrales de Argentat y Cambeyrac, respectivamente, situadas aguas abajo de las centrales de Chastang (Dordogne) y Couesque (Truyère), sirven como contraembalses de dichas centrales. Estas están fuertemente equipadas para puntas y aún se piensa en su ampliación cuando estén terminadas las presas de Argentat y Cambeyrac. En estas últimas el salto es de una altura muy semejante a la que se podría obtener en los aprovechamientos mareométricos (de 9.50 a 16.50 m. en la primera y de 4.40 a 10.90 m. en la segunda). El salto de Cambeyrac es casi exactamente igual al del estuario del Rance.

En la Central de Argentat se han instalado dos grupos, uno bulbo y otro en pozo, con objeto de ensayar su comportamiento. Una vez visto cuál es el mejor, se instalará el tercero y último grupo con el tipo que se haya demostrado más idóneo.

En la Central de Cambeyrac se instalan dos grupos tipo bulbo, cada uno para 55 m.<sup>3</sup>/s. Y se establece, además, un canal paralelo a los grupos que permite, mediante un juego de ataguías que crean las necesarias pérdidas de carga, que los grupos funcionen tanto turbinando de aguas arriba a aguas abajo y en bombeo de aguas abajo a aguas arriba (disposiciones ambas normales), como en turbina desde aguas abajo hacia aguas arriba y en bombeo desde aguas arriba hacia aguas abajo. Para lograr estas últimas disposiciones anormales se hace que el agua pase por el canal suplementario hasta aguas abajo



Central de Argentat. Grupo tipo bulbo (detalle).

de una de las turbinas, turbinando en ésta en sentido inverso y devolviendo otra vez al nivel aguas abajo a través de la otra turbina o directamente.

Esta disposición, claro está, no es la más adecuada al trabajo de los grupos en cuanto a forma hidráulica de los canales, pues exige una serie de canales rectos, pero como se trata de un ensayo en modelo a escala 1/1, esto no tiene ninguna importancia y, en cambio, sí tiene gran valor el resultado de este ensayo, porque, como vamos a ver, se ha previsto que las centrales mareomotrices funcionen con doble sentido, tanto turbinando como bombeando.

Todos estos ensayos, en primer lugar, dan una impresión de la seriedad con que se ha acometido este asunto, aparte de los grandes medios con los que cuenta Electricité de France, la cual tiene en su mano toda la industria francesa de producción eléctrica.

Con todos estos ensayos y los estudios que se han realizado en el Canal de la Mancha, que ahora vamos a exponer, están ya en condiciones de acometer un aprovechamiento mareomotriz con un conocimiento completo de su régimen de explotación, coste de las obras, maquinaria, etc.: es decir, con todos los datos necesarios para poder obtener el valor funcional y económico del aprovechamiento.

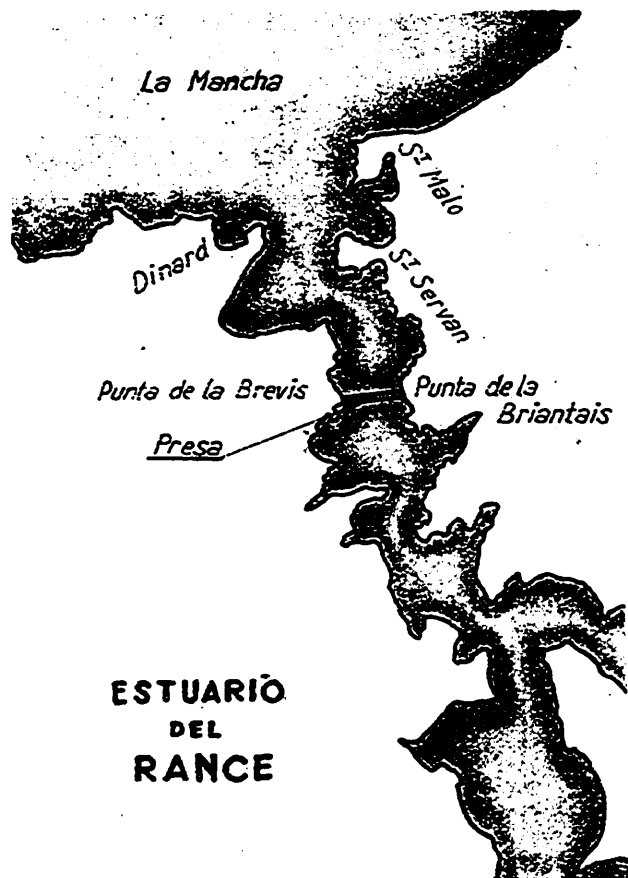
#### APROVECHAMIENTO DEL RANCE.

Entre todos los posibles de la zona del Canal de la Mancha destacan fundamentalmente dos. El más fácilmente realizable es el del estuario del Rance, en las proximidades de Saint-Malo. En éste, con una presa de 700 m. de longitud se proyecta instalar una potencia de 342 000 Kw. que producirá más de 800 MKwh./año. El coste total de los aprovechamientos se estima será de 32.000 millones de francos, lo que da un precio de 40 ff/Kwh./año, que se estima económico en Francia.

El régimen de explotación está perfectamente estudiado, habiéndose analizado una cantidad abrumadora de ciclos de utilización, combinando de todas las maneras posibles la utilización en llenado o vaciado (por lo tanto, con doble efecto) y con auxilio de bombeo, también con doble efecto.

El bombeo es interesante por muchos motivos. En primer lugar, porque gracias a él se adelanta el momento del posible arranque de la Central, subiendo, por ejemplo, el nivel del embalse obtenido en pleamar para conseguir adelantar la obtención de una altura suficiente para comenzar a turbinar cuando el nivel del mar vuelva a bajar.

Pero han estudiado también ciclos de rendimiento francamente negativo en donde, incluso, se llega a bombear en momentos en que no solamente no es necesario, sino que se actúa bombeando en el mismo sentido que tiene naturalmente el agua y, por lo tanto, en pura pérdida. Esto que a primera vista parece



absurdo, no lo es si se tiene en cuenta que cuando esté realizado el segundo aprovechamiento, que ahora vamos a detallar, la proporción que se calcula habrá entonces en Francia de centrales nucleares, planteará el grave problema del empleo de la energía nocturna. En efecto, se calcula que en aquel momento no será suficiente parar todas las centrales hidráulicas e incluso térmicas para evitar que las centrales nucleares se queden sin carga y, a menos que en estas últimas se consiga utilizar la fisión de otro material distinto del uranio, estas centrales, funcionando sin carga, presentan en la situación actual de la técnica el grave peligro de la formación del Xenon 135, que acaba destruyéndolas. Se hace, pues, forzoso el buscar un empleo a la energía sobrante, no ya sólo para aumentar la rentabilidad, sino para evitar la destrucción del reactor. Esto se espera se traduzca económicamente en que las centrales nucleares incluso puedan y tengan que dar un pequeño precio por Kwh. que les tomen de noche, lo que permite el funcionamiento de las centrales mareomotrices en el plan de absorción de energía que hemos dicho. Parece que en el estudio realizado esto se considera más económico que cualquier otro procedimiento (como el empleo de resistencias líquidas, que tantas dificultades presenta).



Este primer aprovechamiento (Rance) está completamente estudiado y se han comenzado ya las obras de la presa. El cierre definitivo de ésta presenta el grave problema del caudal que pasa por ese lugar, alternativamente, cuatro veces al día y que es del orden de 10 000 m.<sup>3</sup>/s. Por lo tanto, este problema del cierre es fundamental de la construcción, hasta tal punto que en Saint-Malo se ha hecho un modelo reducido del estuario del Rance dedicado principalmente a analizar este problema concreto del cierre final. Electricité de France lo ha estudiado con todo detenimiento pero, para mayor seguridad y para lograr una colaboración más estrecha con los contratistas, se ha puesto a disposición de éstos este modelo reducido para que, a petición de ellos, durante un cierto tiempo pudieran realizar los ensayos que estimaran pertinentes. De esta manera, no sólo se cuenta con la propia idea de Electricité de France, sino con la aportación de todas las ideas prácticas de los contratistas (y más concretamente del que ha de realizarlo) y además se consigue que éste se sienta completamente solidario y responsable con Electricité de France del sistema adoptado finalmente para el cierre. El ensayo continúa mientras se hacen todas las labores complementarias.

Asimismo, están realizándose unos ensayos muy interesantes y muy completos sobre las pinturas protectoras de las máquinas, pues el agua marina presenta, como se sabe, unos caracteres mucho más agresivos que las fluviales. Estos ensayos están ya casi terminados y tienen que estarlo completamente dentro de unos seis meses.

Simultáneamente se tendrán los resultados de los grupos de las centrales de Argentat y Cambeyrac, que están en pleno montaje, y entonces se decidirá el tipo de los mismos y se hará el encargo definitivo, montándose hasta 38 de éstos.

#### APROVECHAMIENTO DEL MONT SAINT MICHEL.

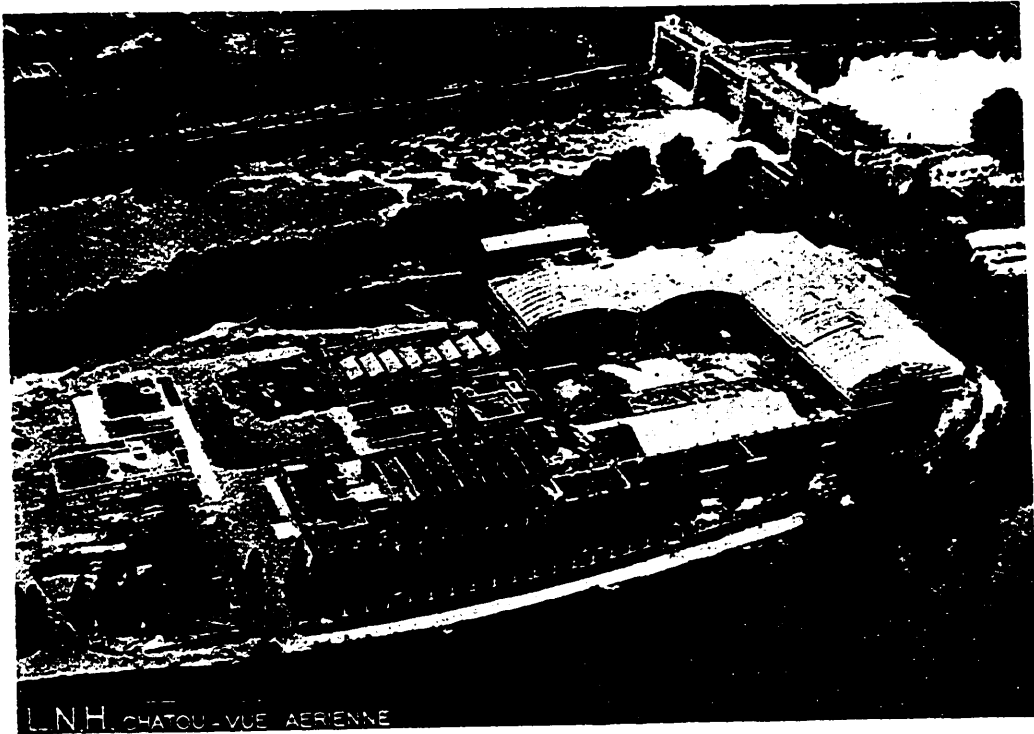
Más que interesante, excepcional, resulta el segundo aprovechamiento en curso de estudio por Electricité de France, llamado de las Islas Chausey o del Mont Saint Michel. Este consistirá en la utilización de toda la superficie comprendida entre estas islas y la Península de Cotentin por un lado, y la punta de Cancale (próxima a Saint Malo) por el otro. La superficie total será de 610 Km.<sup>2</sup> y la energía utilizable se calcula en unos 25 000 MKwh./año con una potencia total de 10 a 15 MKwh. Este aprovechamiento es de proporciones colosales, como puede verse, y se calcula como muy necesario para dentro de veinticinco años, según las previsiones de Electricité de France para aquella época, de tal forma que su conjunción con la energía nuclear disponible será perfecta, en parte por las razones antes dichas y, además, por la función suministradora de puntas que se encargará a esta Central.

En efecto, así como los primeros tanteos que se hicieron sobre el aprovechamiento de las mareas presentaron el inconveniente de su excesiva rigidez, los estudios últimamente realizados en Francia dan una completa elasticidad a estas centrales, gracias al funcionamiento en turbina con doble efecto y con bombeo, también con doble efecto, con el sobreequipoamiento que ello permite.

Esta enorme Central plantea problemas completamente inéditos, no solamente en construcción (estos últimos anormales sólo en sus cubriciones), sino en el terreno hidráulico. En efecto, su puesta en explotación supondrá un cambio importante en el régimen de mareas de una zona mucho mayor del Canal de la Mancha. Es de observar que, al aprovechar un tramo de un río, la energía obtenida en la Central es exactamente la que antes se desperdiciaba por rozamientos, remolinos, etc., en ese tramo; pero un aprovechamiento de mareas supone la utilización de una energía mucho mayor (hasta de unas 20 veces) de la que se disipa naturalmente en el embalse creado. En el proyecto de las islas Chausey esto se traduce en la distorsión de la marea en una zona muy extensa alrededor del aprovechamiento.

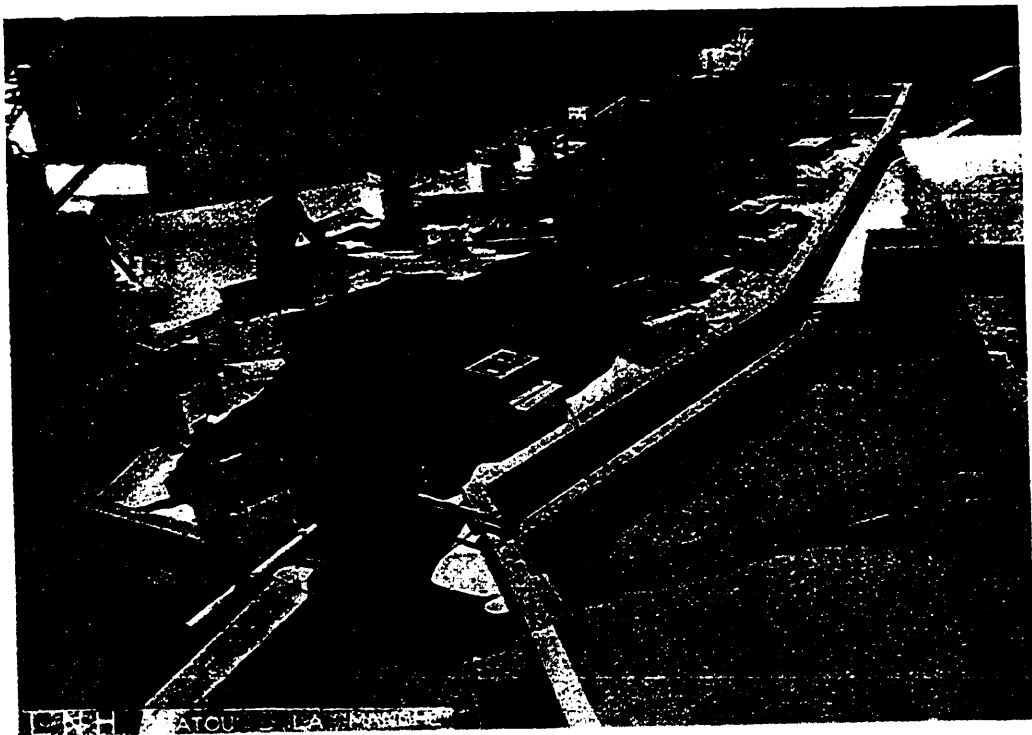
Para estudiar estos efectos, en el Laboratorio Hidráulico de Chatou, próximo a París, que funciona bajo los auspicios de Electricité de France (y que es un verdadero modelo en su género) se está ensayando el régimen general de mareas del Canal de la Mancha a escala 1/50 000 con deformación en la escala vertical. El problema es sumamente complejo, y para lograr la debida semejanza en la dispersión de energía por rozamiento, se ha tenido que disponer, como es habitual en esta clase de modelos, una serie de telas metálicas ajustando la disposición de las mismas cuidadosamente hasta que los datos del modelo en los distintos puntos han coincidido con las observaciones hechas en la realidad. Pero lo curioso de este modelo es que a la escala que está realizado entra en juego el efecto del giro terrestre y la fuerza de Coriolis, que hace que las mareas en la zona sur (Francia) sean mayores que las de la zona norte (Gran Bretaña). Esto no resulta en el modelo y, para corregir sus resultados, ha habido que hacer un tarado exclusivamente limitado a la costa francesa, que es la que les interesa por el momento. Para estudiar la influencia de la fuerza de Coriolis se pensó en un principio hacer un modelo giratorio, pero dado su tamaño esto suponía una complicación excesiva y se ha preferido hacer un ensayo aparte. Un recipiente, cuyas aguas están sometidas a un régimen oscilatorio, se hace girar, observando el efecto del giro en los refuerzos del movimiento oscilatorio en los bordes.

Con los resultados generales de este modelo se procederá a una ampliación de la zona concreta objeto del aprovechamiento de las Islas Chausey, para estudiar éste más detenidamente.



L.N.H. CHATOU - VUE AERIEUNE

Laboratorio de Chatou. — Vista general.



Laboratorio de Chatou. — Modelo del Canal de la Mancha. Junto al operador se ve el golfo de Mont Saint-Michel,

En esta reseña hemos tenido que dejar sin consignar muchos detalles interesantísimos, que proyectamos sean objeto de algún artículo futuro. Pero no queremos terminar sin hacer una observación sobre la aplicación práctica que todo esto pudiera tener en nuestro país.

En primer lugar, resaltan las excepcionales condiciones de los aprovechamientos franceses en cuanto a su economía. Nuestras marcas son del orden del tercio de las francesas y, por lo tanto, su valor energético por kilómetro cuadrado es, por esa razón, casi diez veces menor. Pero a esto se suma que las pérdidas de carga al actuar sobre un denominador ya exiguo, hacen disminuir el rendimiento útil energético todavía más.

En cuanto a lo económico, para obtener la misma energía las máquinas resultarán notablemente más caras y lo mismo sus cimentaciones, obras de central, superestructura, etc., lo cual es otro nuevo motivo de encarecimiento.

Hoy día no parece rentable un aprovechamiento de este tipo en España, a pesar de que disponemos de estuarios y bahías con buenas condiciones topográficas. Y es posible que nunca lleguen a ser económicamente realizables estos aprovechamientos si la energía de origen nuclear alcanza zonas cada vez más rentables, como parece probable. De todas maneras, en este último caso todavía cabe una incógnita, y es la necesidad del suministro de puntas, pero en primera aproximación parece que siempre resultará más económico, para lograr éstas, crear cerca de los centros suministradores que se presten a ello (concretamente Madrid, con su sierra próxima, es un caso muy claro) un sistema de embalses y contraembalses con fuertes caídas de salto, funcionando en bombeo durante las horas de valle e incluso de base y turbinando en las horas de punta. Estas instalaciones, repetimos, parece serán siempre más baratas que una central mareomotriz, pero no cabe descartar definitivamente el que la técnica de los grupos bulbo, con la experiencia de las centrales francesas, se desarrolle de tal forma que alcance cotas cada vez más bajas de desnivel utilizable de una manera económica. En ese caso podría ser interesante algún aprovechamiento de mareas, aun con las cortas carreras de que disponemos, teniendo en cuenta que no solamente proporcionaría puntas, sino disponibilidad de absorción de energía sobrante, como antes hemos dicho, y desde luego nueva energía positiva.

La posibilidad de uno de estos aprovechamientos aumentaría si en alguno de los casos las obras de cierre pudieran tener otra segunda utilización (como vía de comunicación, viveros, defensas, navegación, etcétera).

De todas formas, de unos tanteos que hemos realizado y que publicaremos más adelante, se deduce

que, en el caso más optimista, la reserva mareomotriz de España representa una mínima parte de nuestras necesidades futuras.

### Energía de las olas.

Vamos a resumir lo tratado sobre este tema en las Jornadas, siguiendo el informe general hecho por M. Gariel, que en esencia es casi un resumen del informe o *rapport* presentado por R. Dhaille con el título "Técnica y rentabilidad de los diedros para aprovechamiento de las olas".

La energía mecánica del viento es la que produce las olas y el problema de utilización de la energía mecánica de estas últimas es el que se trata de resolver. Las olas son ondulaciones más o menos complicadas de la superficie del mar, donde la energía del viento se transforma en una triple variedad de energía hidráulica: energía potencial de las diferentes partículas líquidas que se cambian de altura con relación a su nivel inicial de equilibrio; energía cinética de las mismas partículas dentro de las órbitas en las cuales se mueven, y, finalmente, energía capilar debida a las variaciones de la superficie líquida bajo el efecto de las ondulaciones.

Se puede calcular la cantidad de energía contenida en las olas y que como un caudal de la misma fluye en el sentido del desplazamiento del perfil de ondas. Esta energía despreciando las fuerzas capilares y suponiendo para la ola una profundidad infinita, es la siguiente:

$$P = 0,95 (a)^2 \cdot T \text{ Kw./m. de frente.}$$

Siendo:

$P$ , la potencia en Kw.

$a$ , la semilongitud de onda.

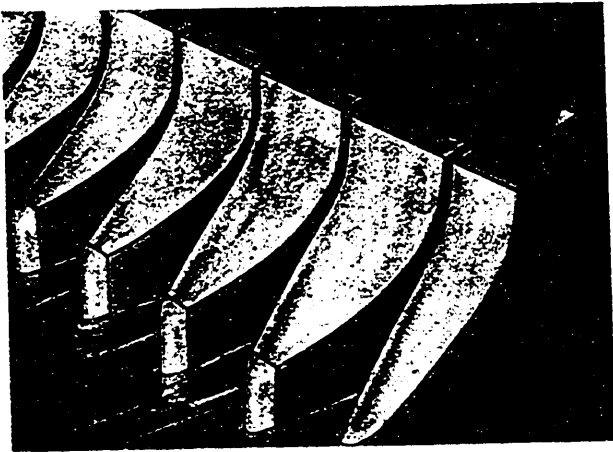
$T$ , el período.

Para  $2a = 4$  m. se obtiene  $P = 152$  Kw., y para  $2a = 1,80$  m. se obtiene  $P = 31$  Kw. Esto suponiendo  $T = 10$  segundos.

De los ensayos realizados en Casablanca se deduce que la frecuencia media probable de olas superiores a 4 m. de amplitud es del orden de 2 por 100 mientras que la de olas de más de 1,80 m. es del orden del 10 por 100. Esto indica que solamente se dispone de los 31 Kw./m. de costa, durante un mes, y que en el resto del año la potencia es menor.

Estas potencias indicadas son brutas y se trata luego del principal problema, que es el transformar esta energía mecánica en otra que pueda ser a su vez convertible o transformable en energía útil y mucho mejor aún si es energía eléctrica.

Existen multitud de dispositivos inventados en todo el mundo para el aprovechamiento de la energía de las olas. Solamente en Francia parece ser que hay 600 patentes sobre esta cuestión. Sin embargo, casi todos estos inventos carecen de sentido práctico



Diedros de oleaje.

y solamente merece la pena tener en consideración los llamados diedros o resonadores que son en definitiva una serie de muros dispuestos en forma de V abierta hacia el mar, en donde golpean las olas, produciendo un efecto de resonancia tal que hace elevar la masa de agua de las mismas varios metros por encima de su cresta.

En el Laboratorio de Hidráulica de Grenoble se han estudiado estos diedros durante varios años y se ha llegado a afinarlos mucho, ponerlos a punto y llegar a perfeccionarlos notablemente.

También se han hecho unos ensayos en verdadera magnitud en Punta Pescade y Sidi Ferruch, en las proximidades de Argel.

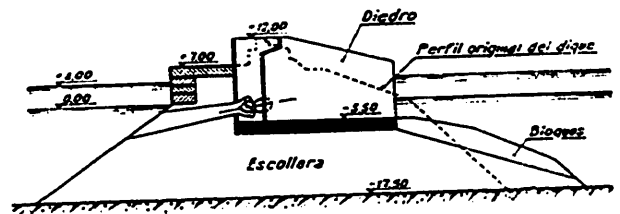
A continuación recogemos un cuadro con las características, rendimiento y alturas de elevación de los diedros, en el Mediterráneo y el Atlántico, que son de singular interés:

Dimensiones de los diedros	Mediterráneo	Atlántico
Longitud .....	20 m.	30 m.
Abertura .....	6 m.	8 a 9 m.
Profundidad .....	2 a 3 m.	3 a 4 m.
Altura de compuertas .....	0.15 a 0.20 m.	0.20 a 0.30 m.
Rendimiento para olas de alrededor de dos metros .....	35 %	20 a 25 %
Altura de sobreelevación .....	4 m.	5 a 6 m.

Nos encontramos, por lo tanto, en este punto con que el aprovechamiento de la energía de las olas es técnicamente realizable y además con un rendimiento medio muy conveniente a pesar de la extrema variedad de sus condiciones de funcionamiento. Falta por examinar la cuestión más esencial, que es la de orden económico y rentabilidad del sistema.

En resumen, los estudios de M. Dhaille recogen finalmente que la instalación de Casablanca de diedros provistos de sus depósitos y de su equipo hidroeléctrico costaría una cifra del orden de 10 000 000 de francos franceses por metro lineal de costa, con una producción del orden 20 000 Kwh./año, con lo que se llega finalmente a un coste por Kwh./año de 500 francos franceses. Para no traducir estas cifras a pesetas, ni confundir los costes técnico-económicos, es preferible comparar esta cifra con la habitualmente admisible en Francia para las instalaciones hidroeléctricas, que es solamente de 50 francos franceses el Kwh./año.

Se ve, por lo tanto, finalmente, que este problema, resuelto técnicamente y con posibilidades perfectas de su puesta en servicio y explotación, no conduce a resultados, hoy por hoy, económicamente convenientes.



Anteproyecto de central de oleaje en Casablanca.

### Energía térmica de los mares.

Siguiendo en esta cuestión el informe general de C. Beau, podemos indicar que los primeros estudios y publicaciones relativos a la utilización de la energía térmica de los mares fueron hechos por Bouchérot y Georges Claude en 1926, y poco después se llevaron a cabo las tentativas de este último en Cuba en los años 1929 y 1930, durante los cuales se hizo girar durante once días delante de un jurado oficial cubano una turbina de demostración accionada por la energía térmica de los mares. Parece ser que el fracaso de este ensayo fué debido a la rotura de las conducciones que aportaban el agua fría de la zona inferior al mar.

Después de una serie de estudios de realización en escala industrial de estos aprovechamientos, que se interrumpieron, según parece, por razones financieras, se reemprendieron en 1941 por el Gobierno francés estos estudios con la intención de llevar a cabo una aplicación en Abidjan (Africa Occidental francesa), punto particularmente favorable por existir un valle submarino que permite a las aguas frías aproximarse a la costa. Para el estudio de este aprovechamiento se fundó en 1948 la Sociedad francesa de economía mixta "Energie des Mers".

Es sabido que la energía térmica de los mares se aprovecha mediante la explotación, en máquinas tér-

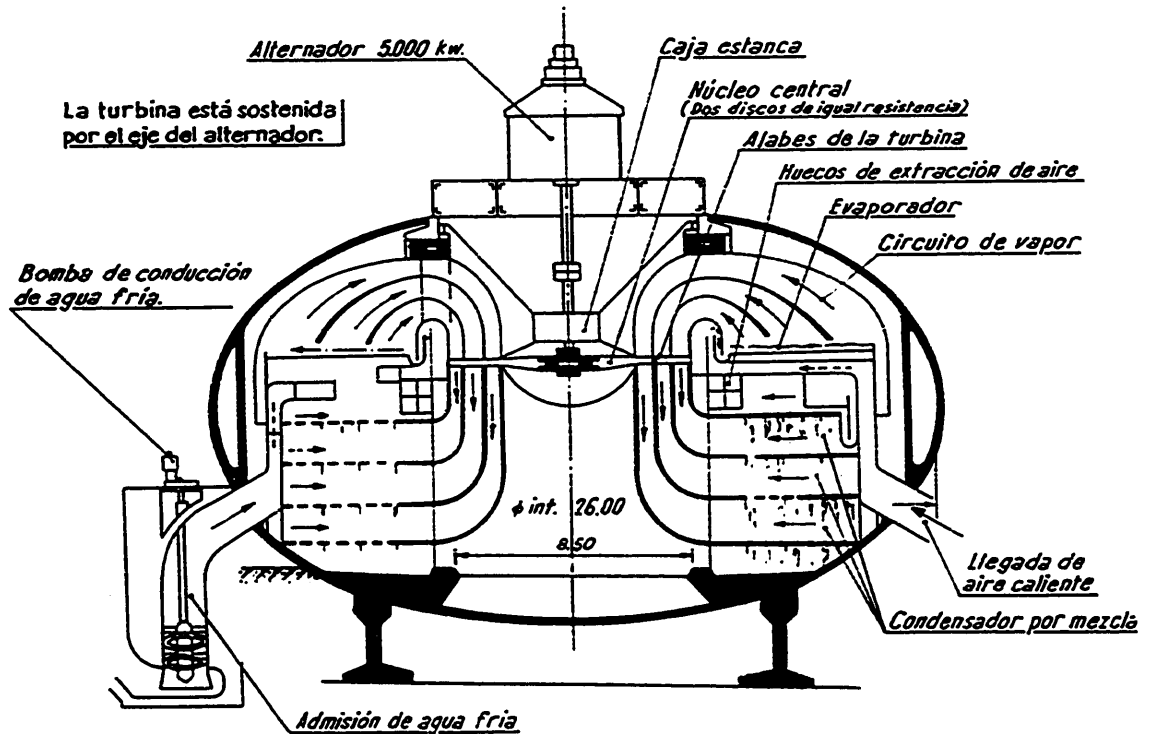


micas apropiadas, de la pequeña diferencia de temperatura existente entre dos fuentes de agua de caudal prácticamente ilimitado, el agua caliente de superficie de los mares tropicales ecuatoriales y el agua fría de las profundidades procedente de las regiones polares como consecuencia de su densidad más elevada.

En las máquinas térmicas se ha empleado desde mucho tiempo atrás gases liquidables tales como los que sirven para la refrigeración: el amoníaco, el gas carbónico, el cloruro de metilo, etc., pero en la ins-

presenta un interés capital para los países áridos situados junto a los mares tropicales.

Para dar una idea de la importancia cuantitativa de este subproducto, se puede precisar que el primer grupo de 3 500 Kw. de la futura central de Abidjan condensará 300 Tn. de vapor/hora y podrá, por lo tanto, producir 300 m.<sup>3</sup> de agua dulce por hora a bajo precio, dado que el agua dulce no tiene prácticamente que soportar más que el interés y amortización de la diferencia de precios entre los dos tipos de condensadores.



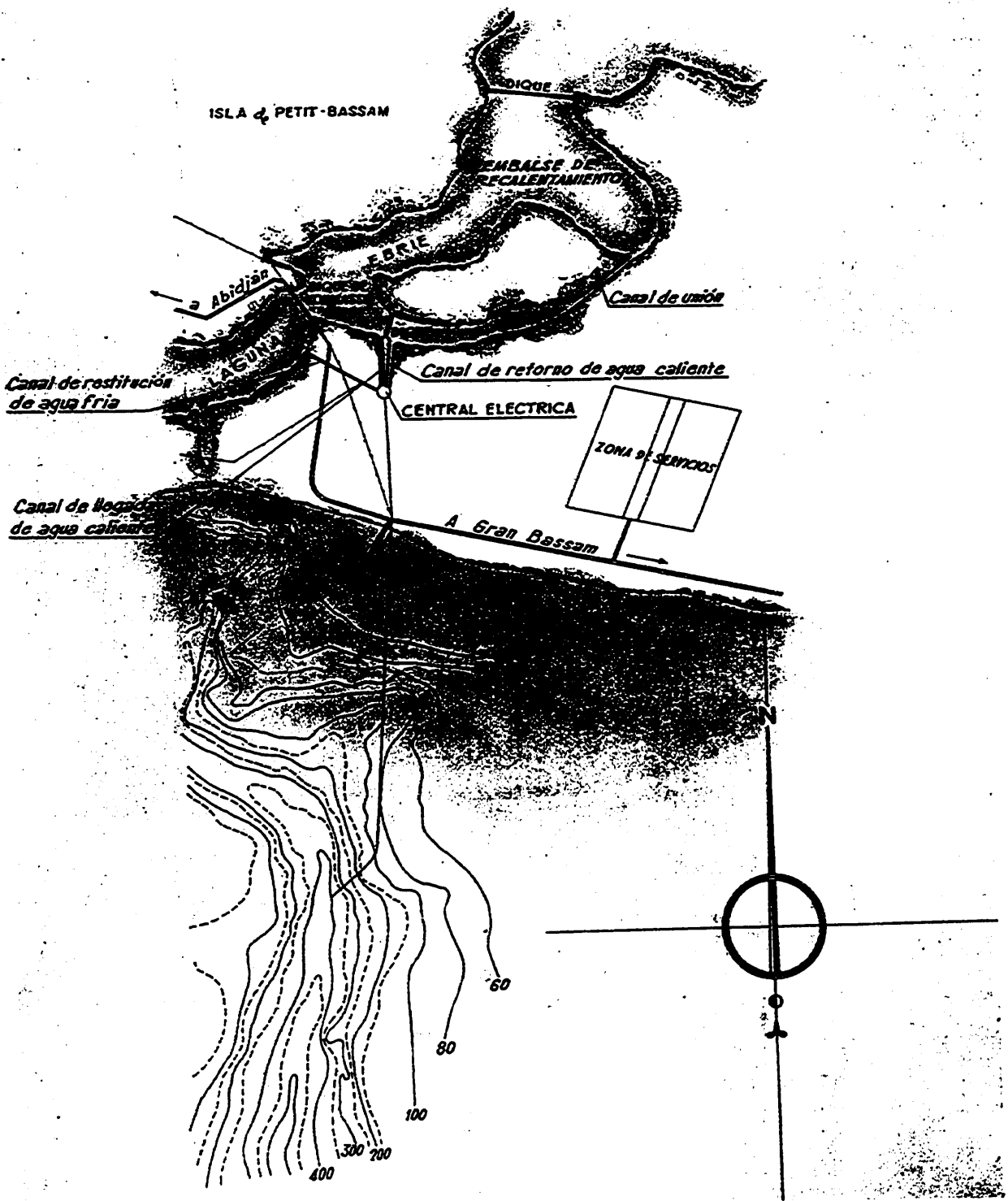
Sección de una central de condensación por mezcla.

talación de Abidjan y después de un estudio muy profundo de la cuestión se ha adoptado como fluido auxiliar o fluido motor el vapor de agua bajo vacío, lo que permite no tener más que un solo cambiador en lugar de dos y reducir el sistema a uno muy simple: cambiador con lluvia de agua fría "a mezcla" si no se desea más que producción de energía, y si se desea, por el contrario, la producción de agua dulce no habría en todo caso más que un solo cambiador de superficie a prever.

Hemos citado el agua dulce y esto tiene el mayor interés en el aprovechamiento de la energía térmica de los mares, dado que entre los subproductos ligados a tipo de fluido motor escogido, el agua dulce producida por la condensación del vapor de agua sobre los condensadores de superficie recorridos por el agua de mar fría obtenida de las profundidades,

Asimismo es fácil, en el caso de que el agua dulce constituya en ciertos lugares el problema número uno primando por consecuencia sobre el de producción de electricidad, aumentar en contra de la cantidad energía producida el tonelaje de agua dulce obtenido partiendo de las mismas cantidades de agua del mar que entran en la central. Se podría utilizar igualmente diferencias de temperaturas inferiores a 20° y descender hasta 14 ó 15 si la cuestión de producción masiva de agua dulce a cualquier precio privaba sobre toda otra consideración. Las centrales se convertirían de esta forma en verdaderas centrales de destilación bajo vacío en lugar de centrales típicas de producción de energía eléctrica.

Asimismo se puede obtener como subproducto, mediante la concentración de salmuera, sal, que independientemente de su valor comercial desde el



Central de Abidjan.

punto de vista de la alimentación, pueda asimismo asociarse a la producción de energía en el mismo punto de la costa y constituir así una materia prima para la instalación de industrias químicas.

La climatización mediante la utilización del agua fría residual de los condensadores permite también un aprovechamiento de la misma que constituye un subproducto nada despreciable en los lugares tropicales o ecuatoriales en donde han de instalarse tales centrales.

Puede mejorarse la explotación por medio de estanques o depósitos en donde se somete el agua caliente a la acción de los rayos solares aumentando de esta forma la diferencia de temperatura, tan importante para el rendimiento de la central.

La central proyectada en Abidjan no ha sido todavía iniciada en su construcción, pero sí se han llevado a cabo, sin embargo, una serie de ensayos previos al proyecto definitivo, y, entre ellos, los relativos a un punto de singular importancia que parecía era la clave del proyecto y es el del transporte y colocación de la tubería de aspiración del agua fría, por su gran longitud y por las grandes profundida-

des a que tenía que ser situada. Uno de los elementos o puntos esenciales de esta instalación es precisamente el transporte de los tubos montados previamente en una laguna y transportados flotando mediante unos artilugios llamados flotadores antiola que permiten el transporte incluso con olas de hasta 1,50 m., conforme se ha demostrado en los ensayos prácticos realizados, en los cuales no solamente se ha hecho el transporte de las tuberías, sino la instalación de algunos tramos y su acoplamiento submarino mediante la colaboración de hombres-rana.

Finalmente queda simplemente decir que según se ha indicado terminantemente en las Jornadas, el estudio económico hecho en el caso de Abidjan permite dar cuenta que aun sin tener en cuenta el valor de los subproductos, la realización de la central de energía térmica de los mares es una operación económicamente rentable, con la única reserva de llevar a cabo una instalación con la potencia económicamente precisa y que en cada caso debe fijarse independientemente del mercado, aun cuando según nuestros informes tampoco requiere potencias de gran importancia para su rentabilidad económica.

