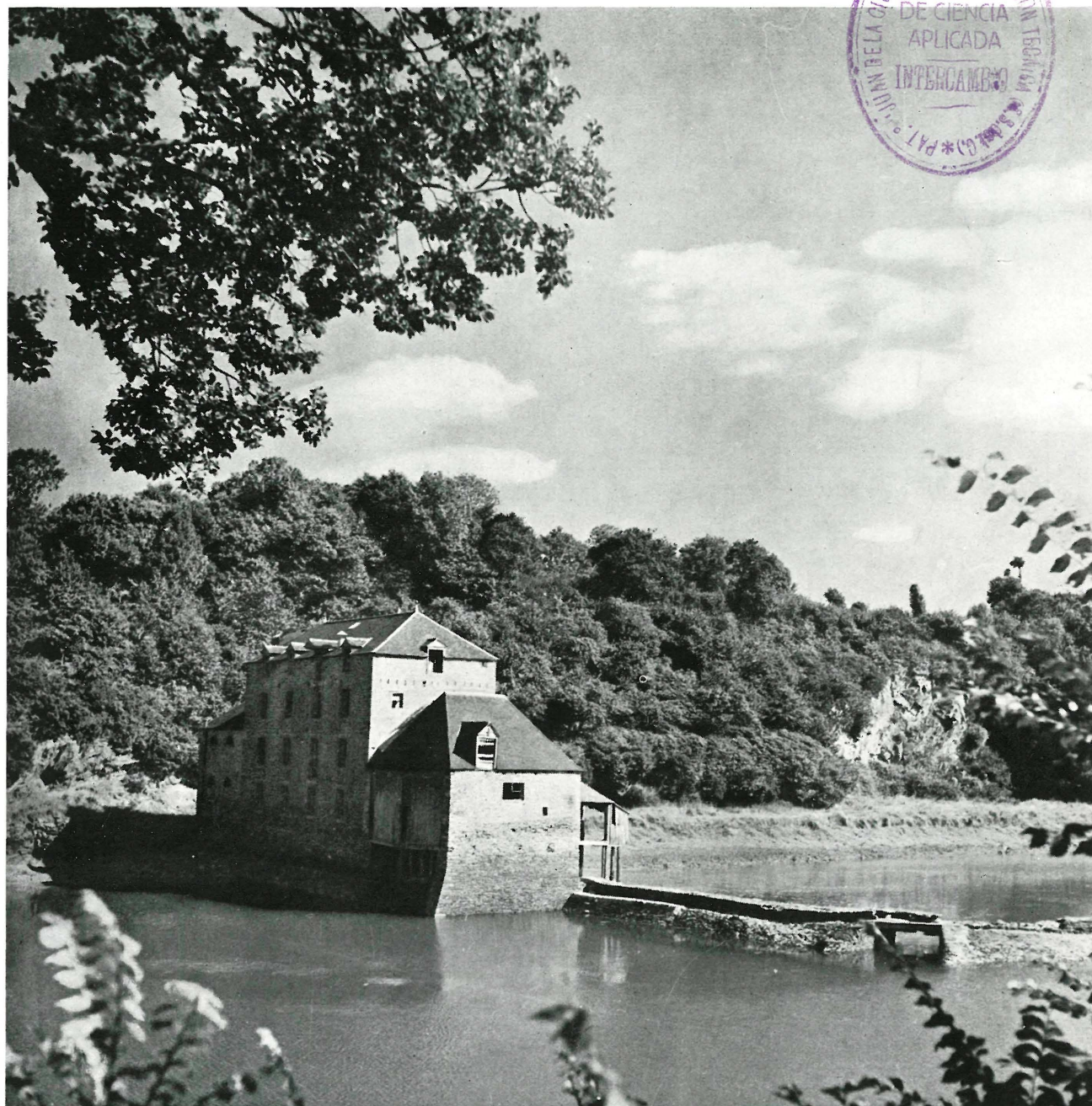




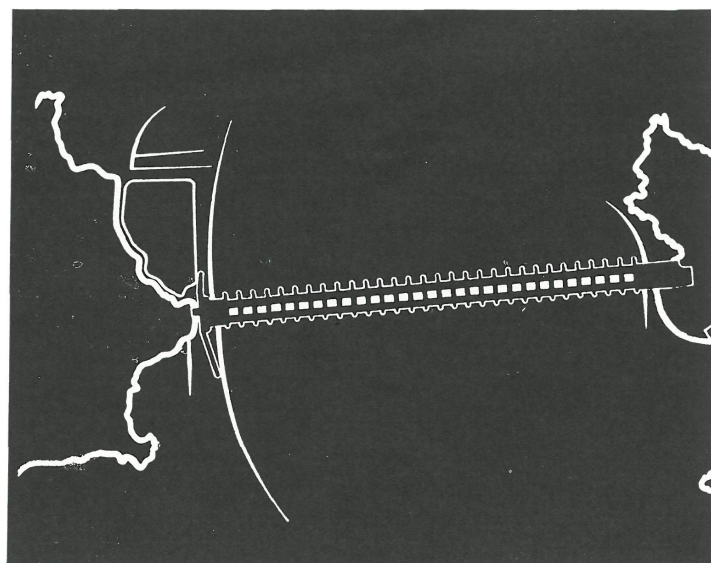
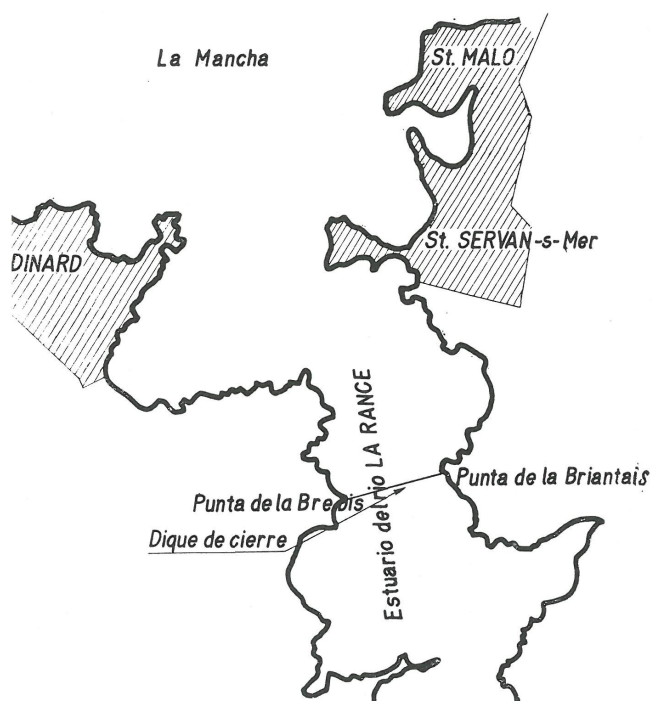
531 - 33

aprovechamiento hidroeléctrico de las mareas en el estuario del río Rance

GEORGES VIÉ, ingeniero

INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

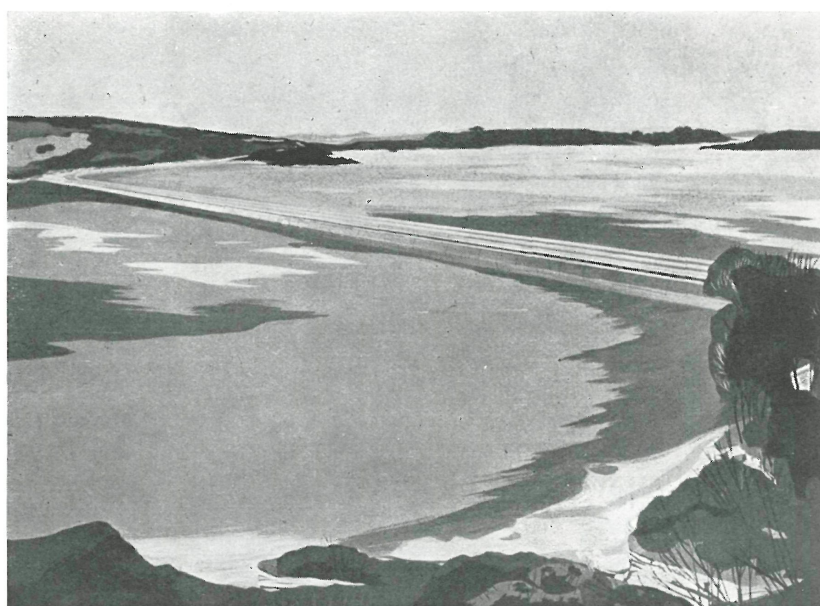
situación



Aspecto que ofrecerá la central de La Rance una vez terminada y en pleamar.

SINOPSIS

Aprobado el proyecto del aprovechamiento de la energía creada por las mareas marítimas en el estuario del río Rance (Francia), los estudios que hasta hoy han tenido forma de anteproyecto se han transformado en posibilidades, cuya realización no se hará esperar. En este trabajo se recogen las características más importantes de este proyecto particular, y se analizan, someramente, el mecanismo de las mareas y el de su utilización racional.



INFORMES DE LA CONSTRUCCION 100

Generalidades

El fenómeno de las mareas, en general, es complejo, y aunque se han hecho grandes esfuerzos en su estudio analítico, los resultados finales, muy dispersos por cierto, no han llegado aún a una solución única por todos admitida. El origen preponderante se basa en la atracción universal, particularmente entre el sol, la luna y la tierra, a la que se une los movimientos relativos entre la tierra y la luna en su órbita y el propio de rotación de la tierra sobre su eje, creando así una oscilación que, en caso de resonancia, aumenta considerablemente el efecto. A todos estos fenómenos se añade uno de tipo local, de forma, cuya importancia afecta notablemente el resultado en cada lugar. Son muchas las teorías en este sentido desarrolladas por hombres de conocida solvencia físico-matemática, entre ellas la dinámica y propagación por onda, pero lo cierto es que se parte siempre de fórmulas aproximadas y semiempíricas, por lo que los resultados no han llegado a un grado depurado en las determinaciones del tiempo y nivel, aunque prácticamente sean suficientes para cubrir las necesidades hasta hoy exigidas para la navegación.

Una demostración práctica y sencilla del complicado sistema del mecanismo de las mareas es el hecho de que en determinadas regiones de la tierra apenas si éstas se hacen sentir, mientras que hay otras, extremas, donde alcanzan una amplitud de hasta 20 metros.

La marea presenta pleamares que varían con el tiempo; además, en ciertos lugares de la Tierra es diurna, es decir, que tiene una sola onda por día lunar; en otros sitios es semidiurna, o de dos ondas por día lunar, cuya duración es de 24 h 50 min. En este último caso se hallan Francia y España. Pero existen otros lugares donde el número de ondas es superior, llegando hasta 14, como ocurre en Euripe (Grecia).

La amplitud o diferencia de nivel entre la pleamar y bajamar varía con el tiempo y lugar, siendo función de la posición relativa de la Luna respecto a la Tierra y el Sol. En el mar Mediterráneo la amplitud es muy pequeña, pero en la zona del Canal de la Mancha llegan hasta los 12,50 m en Granville y, excepcionalmente, hasta los 13,50 m (1).

Aunque la energía utilizable varía con el cuadrado de la amplitud de la marea, no basta con que ésta sea muy grande; es necesario constituir un gran embalse, pues la energía recuperable se halla en razón directa con el volumen embalsado, y, como la profundidad del dique de cierre se ha de mantener dentro de límites razonables, lo que interesa a la postre es disponer de una gran superficie de embalse.

Condiciones mínimas de posibilidad industrial

El volumen de obra, la superficie de embalse y la amplitud de la marea constituyen los factores que han de combinarse apropiadamente para obtener un resultado óptimo.

En este sentido, el estuario del río Rance y la bahía a lo largo de Granville y Cancale (Francia), presentan características muy apropiadas a este tipo de explotación. Esto es lo que ha determinado el gran impulso

para pasar del estado de proyecto al de preparatorio para la ejecución de la central de La Rance.

El estuario del río Rance

La zona del estuario del río Rance es una de las más pintorescas de la Bretaña francesa. La parte del estuario afectada por la doble marea se extiende, en longitud, unos 20 km. La anchura, muy variable, va de unos 250 a unos 1.500 m, que aún se hace mayor al desembocar en el mar, donde alcanza hasta los 2.000 metros.

El cuenco formado por el estuario se llena dos veces por día, alcanzando un nivel máximo, durante las grandes mareas, de hasta 13,50 m. La corriente entrante dura 5 h 30 min y, después de una media hora de pleamar, se inicia la corriente vaciante, dejando el cuenco vacío, o menos lleno, al cabo de 6 h 30 minutos.

Este movimiento alternativo de flujo y reflujo permite el aprovechamiento parcial de la energía que en él se crea para volverse a disipar, y así sucesivamente en un ciclo ininterrumpido. La forma más simple de este aprovechamiento consiste en la construcción de un dique que deje penetrar la onda entrante; cerrar después las compuertas del paso de entrada, y al cabo de las dos o tres horas subsiguientes a la pleamar el desnivel así creado permite accionar una turbina. Este es el principio que utilizaron los molinos de mareas para la molienda de cereales en las costas de La Mancha durante varios siglos. La mayoría de estas obras precursoras se hallan actualmente en ruinas (aún existe alguna de ellas, particularmente en el estuario del río Rance).

Dificultades de explotación

Ya en el siglo XI se había escrito sobre este tema, pero desde los finales del siglo XIX este tipo de explotación ha venido languideciendo hasta la actualidad, si bien se han registrado un gran número de patentes de sistemas más o menos ingeniosos, que, naturalmente, casi todos se han enfrentado con ciertas dificultades de fácil comprensión:

- a) La variación de nivel crea dificultades que sólo las turbinas modernas son capaces de resolver convenientemente.
- b) Como la generación de energía varía con el tiempo, es necesario un sistema de distribución apropiado, problema que las redes modernas han podido combinar con la producción de otras fuentes.
- c) La inversión de corrientes crea problemas particulares a las instalaciones mecánicas y de compuertas.
- d) Las turbinas y la construcción del dique de cierre presentan también sus propios inconvenientes.

Actualmente existen todos los elementos necesarios para una instalación de este tipo. La cuestión de la acción corrosiva del agua del mar, aun siendo un inconveniente, no presenta dificultades insuperables. Y en lo que respecta al dique o presa de retención, la estructura es muy similar a otras ya construidas.

(1) El problema de la utilización de la energía del mar en las costas españolas del Atlántico ha sido estudiado por el ingeniero de Caminos Bienvenido Oliver y Román, «Revista de Obras Públicas» de marzo y mayo de 1951.

Preparación y estudio del proyecto definitivo

Desde hace aproximadamente unos treinta años se han venido realizando una serie de estudios, de tipo teórico y experimental, por distintos grupos interesados en esta clase de explotaciones. El estudio del proyecto de utilización de la energía creada por las mareas se encargó a un Comité Técnico de la Energía de las Mareas, cuyas conclusiones no han tenido una consecuencia inmediata, pero no obstante esto se continuarán las investigaciones, que dieron lugar a múltiples discusiones en conjunto con los estudios realizados anteriormente, llegando a la conclusión de que la amplitud de los trabajos que se tenían que continuar rebasaban los medios disponibles de las Sociedades privadas, y que la mejor utilización del estuario del río Rance consistía en la construcción de una presa situada lo más aguas abajo posible del río.

En 1943 se creó una Sociedad (S. E. U. M.), con objeto de estudiar este aprovechamiento; pero con motivo de la nacionalización de los servicios y explotaciones eléctricas en Francia, la Empresa Nacional (Electricité de France) absorbió este cometido.

Con objeto de comprobar experimentalmente las previsiones de orden teórico, se decidió, en 1945, encargar al Laboratorio de Hidráulica del Delfinado, de los Etablissements Neyrpic, de Grenoble, la construcción de un modelo reducido del referido aprovechamiento.

El modelo construido, de unos 500 m² de superficie, a escala planimétrica de 1/500, y de 1/80 en altimetría, representa el estuario del río, desde la esclusa de Pont Perrin, que se halla 5 km aguas arriba de Dinan, hasta la isla de Cézembre, a unos 3 km de Saint Malo.

Para la construcción de este modelo, espejo viviente del estuario y de los fenómenos mareológicos que en él se originan, hubo de vencerse no pocas dificultades, pues debía responder a todo un sistema de medidas y fotografías de toma automática, necesarias para contestar a los múltiples problemas que se debían estudiar. Una de las dificultades consistió en el diseño de un aparato electrónico, inventado en el propio Laboratorio, para reproducir la ley de las mareas del lugar. Este aparato compara continuamente el nivel correspondiente al obtenido en el propio estuario con el nivel en el mismo modelo. La variación de niveles se recoge en un limnógrafo electrónico con una precisión menor que 0,5 mm, es decir, 4 cm en tamaño real.

El modelo dispone de un grado tal de rugosidad que da una similitud muy exacta de la propagación de la onda de la marea en el estuario. Esta preparación ha corrido a cargo del ingeniero Le Ménestrel.

Principios de la recuperación de la energía en centrales

El principio básico de una central de este tipo puede extenderse a uno o varios ciclos. Así, por ejemplo:

- En el embalse único, éste se llena por medio de las compuertas entrantes al subir la marea, y se vacía, atravesando las turbinas, cuando la marea baja.
- Embalse único y doble efecto. El agua entrante pasa por las turbinas y la saliente también.

- El sistema de Belidor (1), presentado en 1737, que consiste en dos embalses independientes que vierten el uno en el otro a través de las turbinas: uno se llena con la marea subiendo y el otro se vacía con las compuertas abiertas al bajar la marea.

También se pueden usar otros ciclos utilizando dos o más embalses y hasta empleando periodos de bombeo del agua en los embalses independientes. Pero al aumentar el número de ciclos, su explotación industrial se hace muy delicada.

La simplicidad de algunos ciclos de utilización no es más que aparente, pues en cada uno de ellos aparecen escollos que hay que salvar. Esta es la causa principal de haberse dado tanta amplitud al periodo de estudio, redacción del proyecto y ensayo, en modelo reducido, del aprovechamiento del estuario del río Rance.

En los ensayos se han estudiado las posibilidades que se ofrecen a los distintos ciclos, con y sin bombeo, comprobando los resultados con los obtenidos por el cálculo.

Determinación del lugar de emplazamiento de la presa y tipo de turbinas

El estudio detenido sobre el modelo reducido del aprovechamiento, las corrientes, mareas, etc., así como los lugares más ventajosos para la ubicación de la obra, dieron por resultado final la determinación del lugar definitivo en que se ha de construir la presa.

El embalse de esta presa tendrá una superficie de 20 km², y el volumen embalsado en el periodo de mareas vivas será del orden de 160 Hm³.

Otra de las determinaciones importantes de la presa, una vez ubicada, son las dimensiones de los huecos de las compuertas, pues el volumen de aguas disponibles, onda de la marea, superficie de compuertas y tiempo constituyen una función de cuatro variables.

Durante los ensayos se han estudiado distintos tipos de turbinas, modelos que han sufrido tan profunda modificación que se puede decir que han sido creados en el laboratorio.

De cuanto se ha dicho ligeramente de los problemas de mayor importancia, E. D. F. ha podido sacar partido para redactar el proyecto oficial de ejecución del aprovechamiento, y prever un precio de coste del kilovatio/hora muy parecido al de las centrales fluviales con azud y de pequeño salto hidrostático.

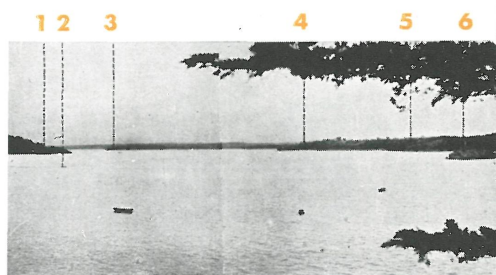
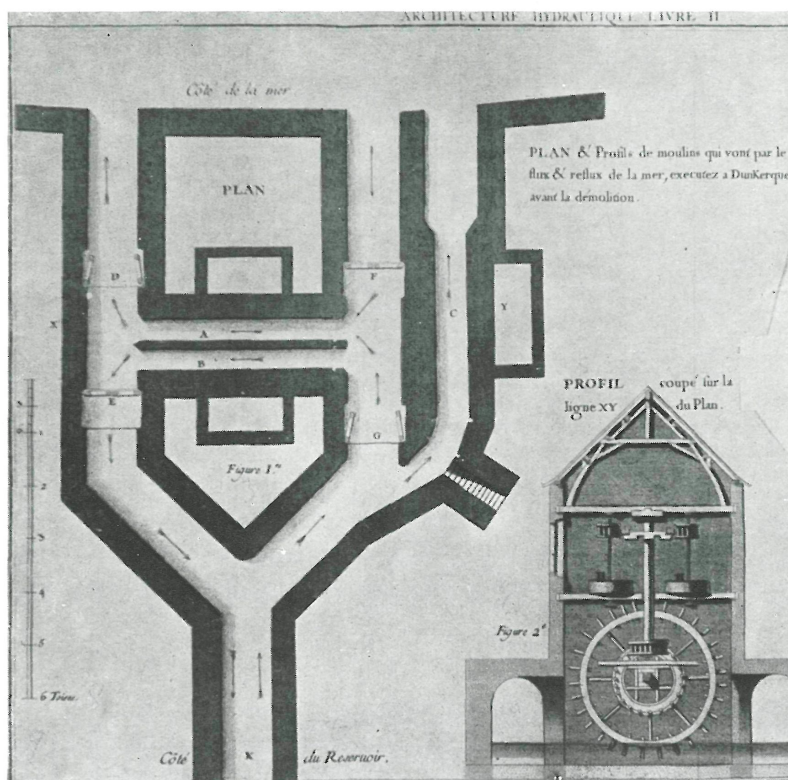
La primera central de esta naturaleza se construirá entre las puntas Briantais y de Brebis. La presa tendrá 800 m de longitud, y en su coronación se habilitará un paso que unirá Saint-Malo con Dinard. La obra no desmerecerá el paisaje local y, situada a unos 4 km de la desembocadura, tendrá 15 m de altura sobre el nivel de las mareas, es decir, que se hallará 1,50 m más alta que la cota correspondiente a las mareas de mayor amplitud.

(1) Belidor: «Tratado de Arquitectura Hidráulica», año 1737. Esta obra trata, particularmente, de los molinos que utilizan la energía de la marea en Dunquerque.

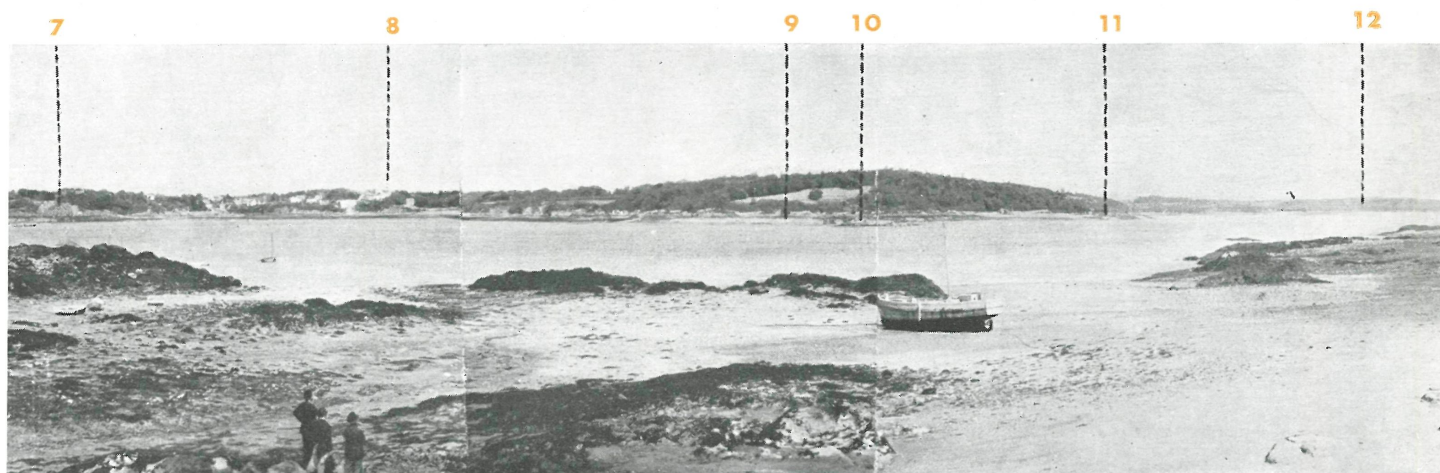
Planta y sección de un molino que existió en Dunquerque y que aprovechaba la energía de las mareas.

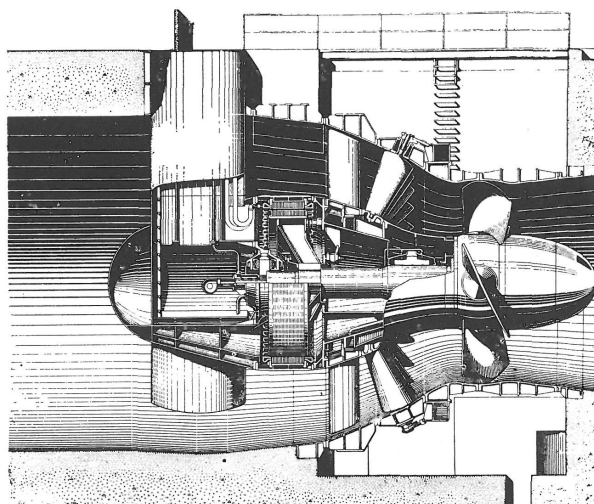
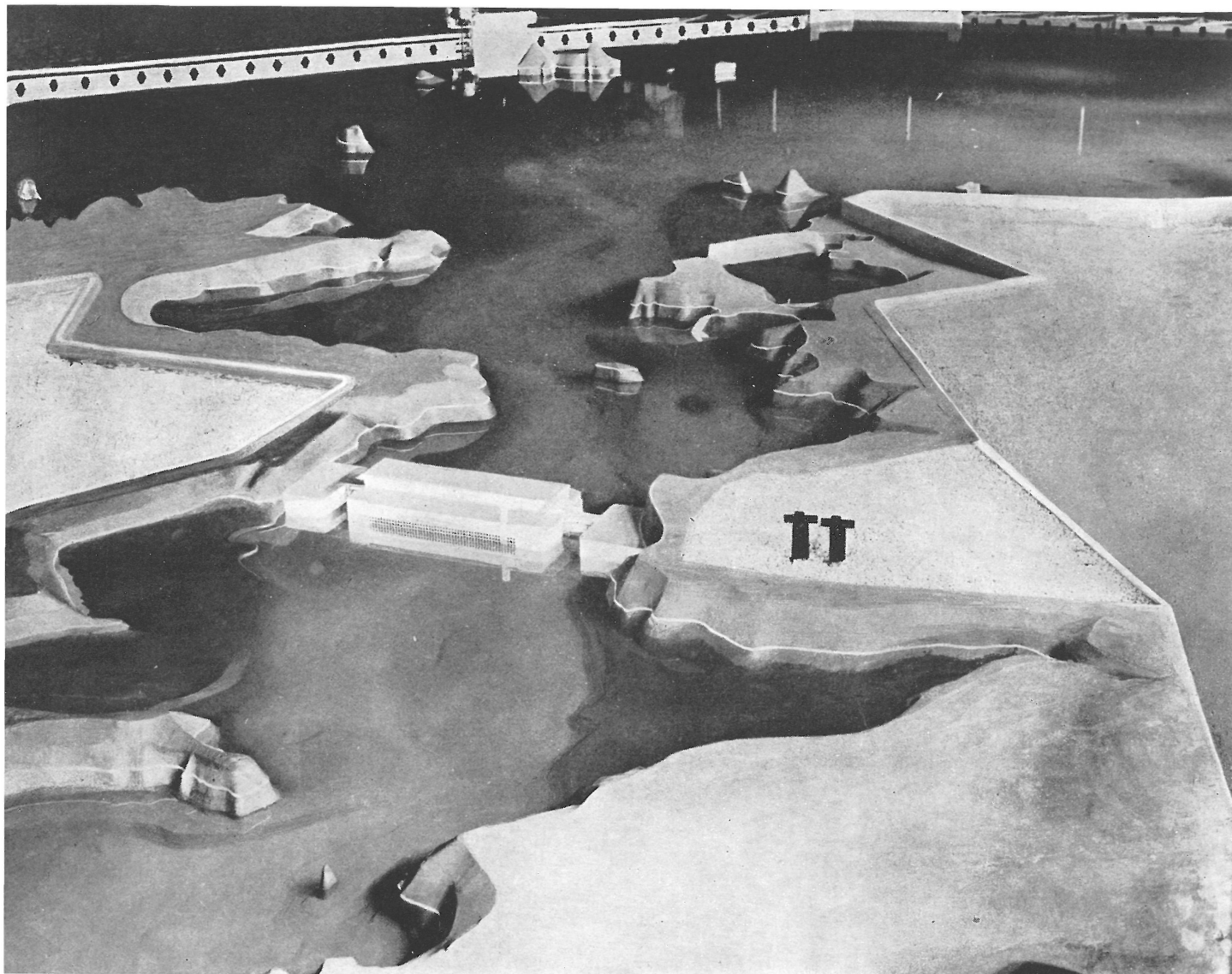
Vista del estuario hacia aguas arriba.

Parte del estuario donde se instalará la central.



1. Punta de la Briantais.—2. Les Zorieux.—3. Punta de Cancaval.—
4. Punta de la Brebis.—5. Punta de la Jument.—6. Bizeux.—7. Punta de l'Aiguille.—8. Faro de la Balue.—9. Punta de la Briantais.
10. Chalubert.—11. Punta de la Cage aux Moines.—12. Punta de la Jeanais.





Modelo reducido de la obra.

Materialización de corrientes con «confeti» en los ensayos sobre modelo reducido.

Un grupo generador tipo bulbo.

Varios

El nivel de pleamar será mantenido durante tres horas, aproximadamente, descendiendo después hasta el nivel medio de la marea. Al mantener el nivel mínimo actual de aguas más elevado, desaparecerá el aspecto de barrizal que presenta el estuario en las bajamares.

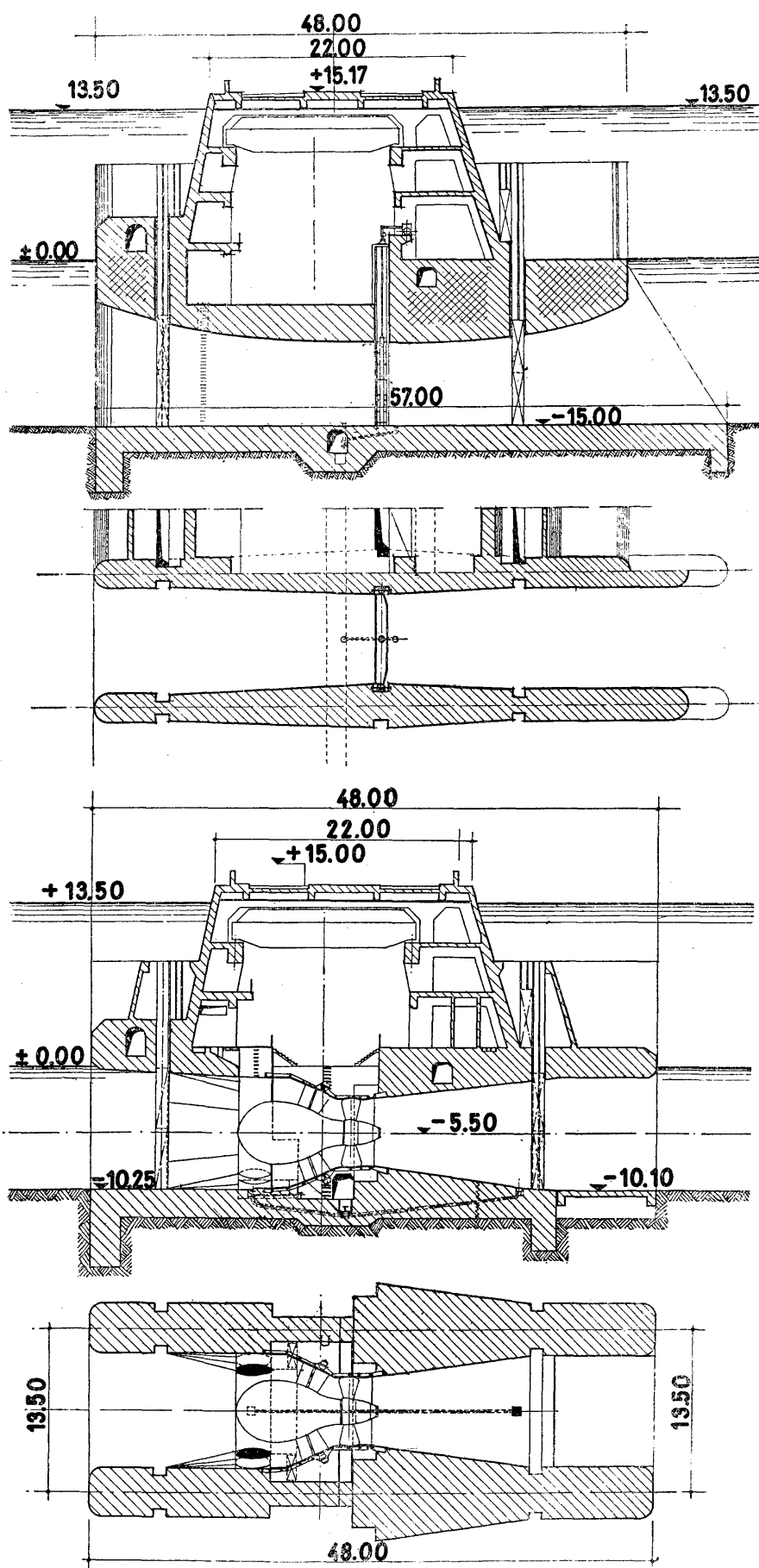
A pesar de las variaciones de la marea, de escasa importancia, la producción anual de energía es casi constante. En realidad, el fenómeno de las mareas en un momento dado no se repite más que al cabo de 18 2/3 años, lo que permite considerar, en este largo espacio de tiempo, una relativa regularidad anual, o lo que es lo mismo, una producción uniforme de energía eléctrica. Así, pues, en esta clase de instalaciones no se tienen años secos y húmedos.

Si se comparan las mareas correspondientes a dos lunas, cualesquiera en el curso de un año, se puede comprobar que la energía disponible varía muy poco de su valor medio y, por ello, bien se puede decir que en este tipo de explotación no existe verano, invierno, meses húmedos o meses secos.

Empleando en la explotación el ciclo normal de simple efecto, este aprovechamiento puede recuperar 35 millones de kilovatios/hora por kilómetro cuadrado del embalse.

El proyecto actualmente en estudio para Chausey (bahía del Monte San Miguel), de 600 kilómetros cuadrados de superficie del embalse, daría, de acuerdo con esto, una producción de 22.000 millones de kilovatios/hora.

Algunas zonas de la costa de Vizcaya a Galicia se prestan a este tipo de aprovechamientos.



secciones

Varios

El nivel de pleamar será mantenido durante tres horas, aproximadamente, descendiendo después hasta el nivel medio de la marea. Al mantener el nivel mínimo actual de aguas más elevado, desaparecerá el aspecto de barrizal que presenta el estuario en las bajamareas.

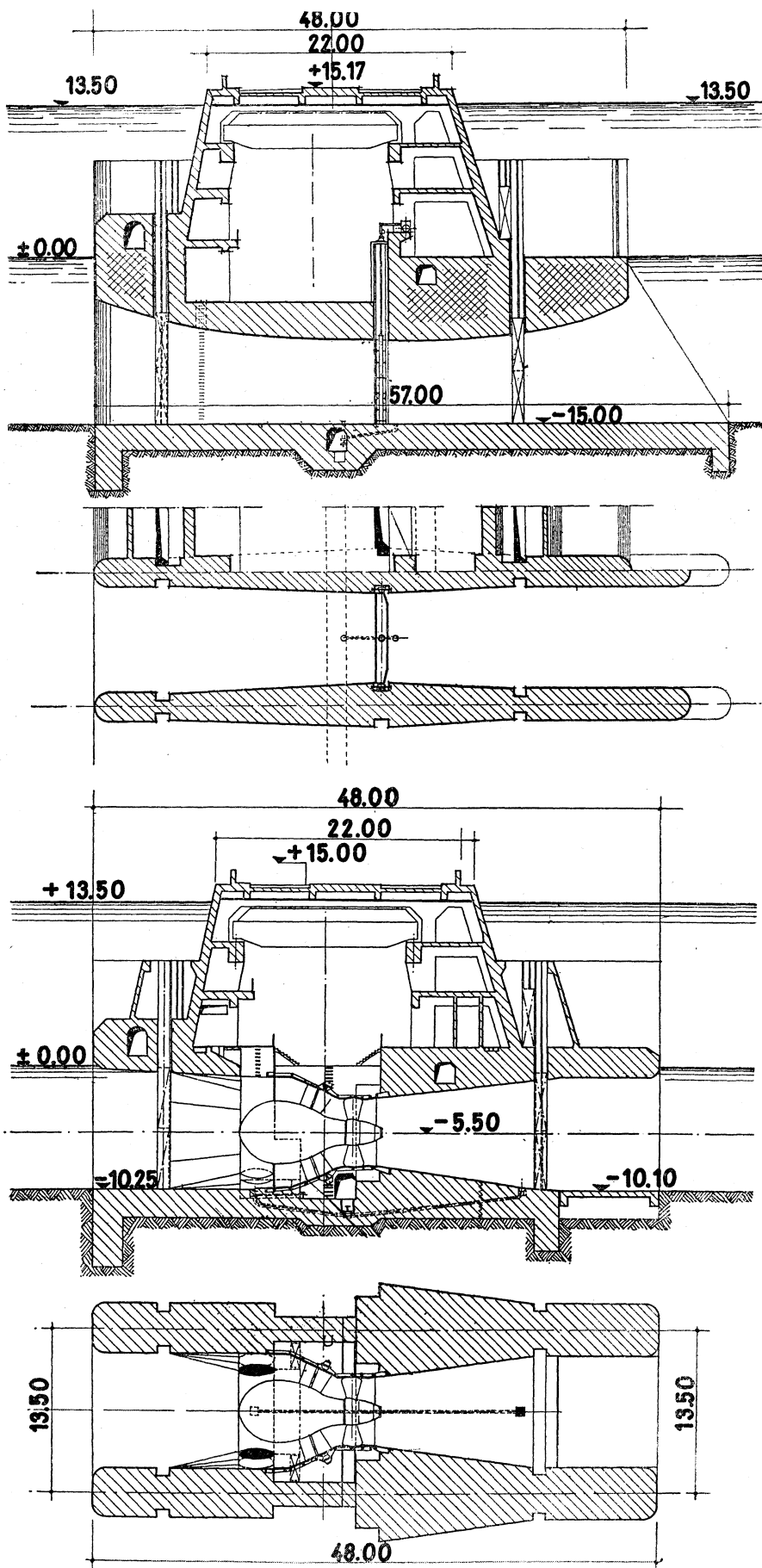
A pesar de las variaciones de la marea, de escasa importancia, la producción anual de energía es casi constante. En realidad, el fenómeno de las mareas en un momento dado no se repite más que al cabo de 18 2/3 años, lo que permite considerar, en este largo espacio de tiempo, una relativa regularidad anual, o lo que es lo mismo, una producción uniforme de energía eléctrica. Así, pues, en esta clase de instalaciones no se tienen años secos y húmedos.

Si se comparan las mareas correspondientes a dos lunas, cualesquiera en el curso de un año, se puede comprobar que la energía disponible varía muy poco de su valor medio y, por ello, bien se puede decir que en este tipo de explotación no existe verano, invierno, meses húmedos o meses secos.

Empleando en la explotación el ciclo normal de simple efecto, este aprovechamiento puede recuperar 35 millones de kilovatios/hora por kilómetro cuadrado del embalse.

El proyecto actualmente en estudio para Chausey (bahía del Monte San Miguel), de 600 kilómetros cuadrados de superficie del embalse, daría, de acuerdo con esto, una producción de 22.000 millones de kilovatios/hora.

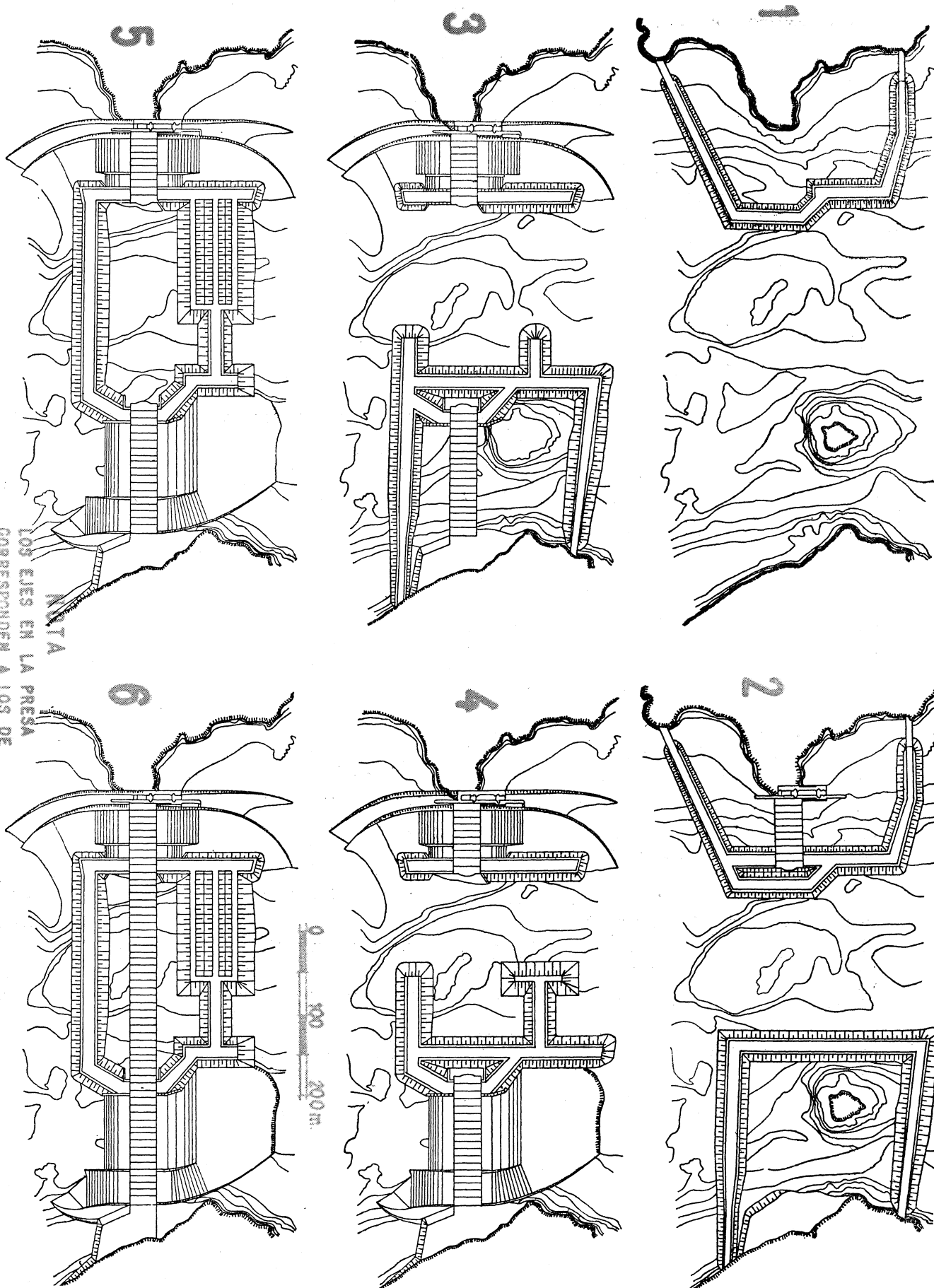
Algunas zonas de la costa de Vizcaya a Galicia se prestan a este tipo de aprovechamientos.



secciones

fases de construcción

NOTA
LOS EJES EN LA PRESA
CORRESPONDEN A LOS DE
LAS PILAS



0 100 200 m.

la construcción de capas de protección del dique o para la presa. Simultáneamente a esta fase se construirá una esclusa y cinco compuertas de paso en la otra ataguía.

En la fase tercera se construirán dos espigones como comienzo de la tercer ataguía de cierre de la parte central. Estos espigones se formarán siguiendo el procedimiento enunciado, siempre que lo permita la corriente. Simultáneamente, se construirán, en el interior de la ataguía de la margen derecha, cinco compuertas de paso y seis pasos para otros tantos grupos generadores. Estos grupos no se instalarán inmediatamente, pero los huecos y paso a ellos reservados se equiparán de tal forma, que permitirán el paso del agua y el montaje del grupo correspondiente en su día.

En esta fase se demolerá la ataguía de la margen izquierda.

En la fase cuarta se demolerán los diques de la ataguía de la margen derecha, con lo que el agua podrá pasar a través de las compuertas, ya terminadas en las partes de presa correspondientes a los estribos. Con este motivo la corriente será menor, y permitirá seguir la construcción de la parte central de cierre hasta llegar a una abertura o paso de 180 m en el centro del estuario.

En la fase quinta se construirá el muro frontal, cara al mar, de la ataguía de la parte central. Este dique, permeable, se levantará con elementos de piedra de unos 300 kg de peso por unidad.

Para impermeabilizar este dique se procede a la hincas de una pantalla de tablestacas, ayudándose para ello de un contradique situado detrás. Durante el periodo de hincas y construcción del contradique, se procederá a la construcción del muro de cierre de aguas arriba en estuario, siguiendo el procedimiento normal de banqueta que hemos descrito anteriormente, consiguiendo así el cierre de la tercera y última ataguía.

Durante esta fase se terminará la instalación de los seis primeros grupos en la zona de la presa correspondiente a la margen derecha, lo que permitirá su entrada en servicio al finalizar esta fase.

En la fase sexta se terminará la construcción de

la parte de hormigón y la instalación de los 32 grupos restantes.

Materiales

La construcción de esta obra absorberá unos 460.000 m³ de hormigón ciclópeo, no armado, a excepción de algunas partes.

Con objeto de evitar una posible descomposición del hormigón se estudiará el tipo de cemento que más convenga a esta clase de obras.

En lo que se refiere a los metales que han de utilizarse en la maquinaria que ha de instalarse en esta central, se ha creado una estación de ensayos en Saint-Malo, que trabaja con agua del mar. A este fin se han instalado dos grupos del mismo modelo al definitivo, de tipo bulbo, cuyos álabes son de metales diferentes.

Se han estudiado distintos tipos de pinturas, pero, prácticamente, ninguno de ellos resiste en los álabes, según se ha podido comprobar experimentalmente.

Respecto a los metales para las turbinas, Les Ateliers et Forges de La Loire han propuesto un acero «Vega 20», capaz de resistir a la acción corrosiva del agua del mar, y que presenta todas las garantías mecánicas necesarias.

Esclusa

Para no interrumpir la navegación en el estuario, se ha proyectado una esclusa de 35 m de longitud y 10 m de anchura; un umbral de entrada de cota + 2,50 m y otro de salida, aguas arriba, a la cota + 4,00 m. Esta obra permitirá el paso de barcos de hasta 4 m de calado con la marea favorable.

Funcionamiento de los grupos

Las turbinas podrán producir con aguas del mar al estuario y viceversa; utilizarse como bombas, actuando al alternador como motor y actuar como compuerta de paso al pararse y girar convenientemente sus álabes.

J. J. U.

