

CENTRALES MAREMOTRICES, TREINTA AÑOS DE HISTORIA

Fernando Hermosilla Villalba.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor titular de Universidad. Interino E.T.S. de Ingenieros de Montes.

RESUMEN

La central mareomotriz de LA RANCE (Francia), cuya construcción comenzó en 1961, marcó un paso decisivo en la Técnica de centrales mareomotrices y sigue estando entre las más importantes del mundo.

Durante su construcción, debido en gran parte al sistema previsto en Proyecto para realizarla, surgieron muchos y graves problemas que originaron sobrecostes importantes. Por eso los ingenieros rusos prefirieron, para la central de KISLAYA-GUBA, aprovechar la Técnica desarrollada por los holandeses al construir los diques del llamado PLAN-DELTA. En el presente artículo, además de sintetizar las Técnicas ya utilizadas en casos reales, se proponen innovaciones que con certeza podrán ser aplicadas en futuras construcciones, evitando los problemas que ahora se reseñan. Más detalles sobre ello pueden verse en la Tesis Doctoral que presentó en su día el autor de este artículo.

ABSTRACT

The tidal wave station at LA RANCE (France) whose construction was begun in 1961 marked a great technical advance in this type of centre, and is still one of the most important in the world.

The system adopted in the project was largely responsible for the grave problems encountered in the construction and for the unexpectedly high cost. For this reason, Russian engineers have chosen the Dutch PLAN-DELTA technique of dyke construction for their centre at KISLAYA-GUBA.

This article examines the techniques already in use and proposes some innovations for future constructions. Further details may be found in the doctoral thesis of the author.

1. CENTRAL DE LA RANCE

1.1. EL ESTUARIO DEL RÍO LA RANCE

La Rance es un pequeño río bretón de unos 100 km. de longitud que, poco después de su paso al pie de la muralla de la ciudad feudal de Dinan, desemboca en un gran estuario que la mar visita e inunda dos veces al día. (Ver fig. 1). Este vasto estuario, de una veintena de kilómetros de longitud, constituye un conjunto turístico de gran belleza.

En la región de Saint-Malo y de Mont St-Michel, los movimientos de agua tienen una amplitud muy importante. En las grandes mareas del equinocio entran al embalse, creado para la central mareomotriz, 180 millones de metros cúbicos que se extienden sobre 22 kilómetros cuadrados; la diferencia de nivel entre pleamar y baja mar alcanza 13,5 metros.

Parecía lógico que un lugar tan favorable a la utilización de la energía de las mareas inspirara al inventor, al investigador. En relación con ello citaremos los siguientes trabajos:

Se remitió a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
febrero de 1998.

Recibido en ROP:
mayo de 1997

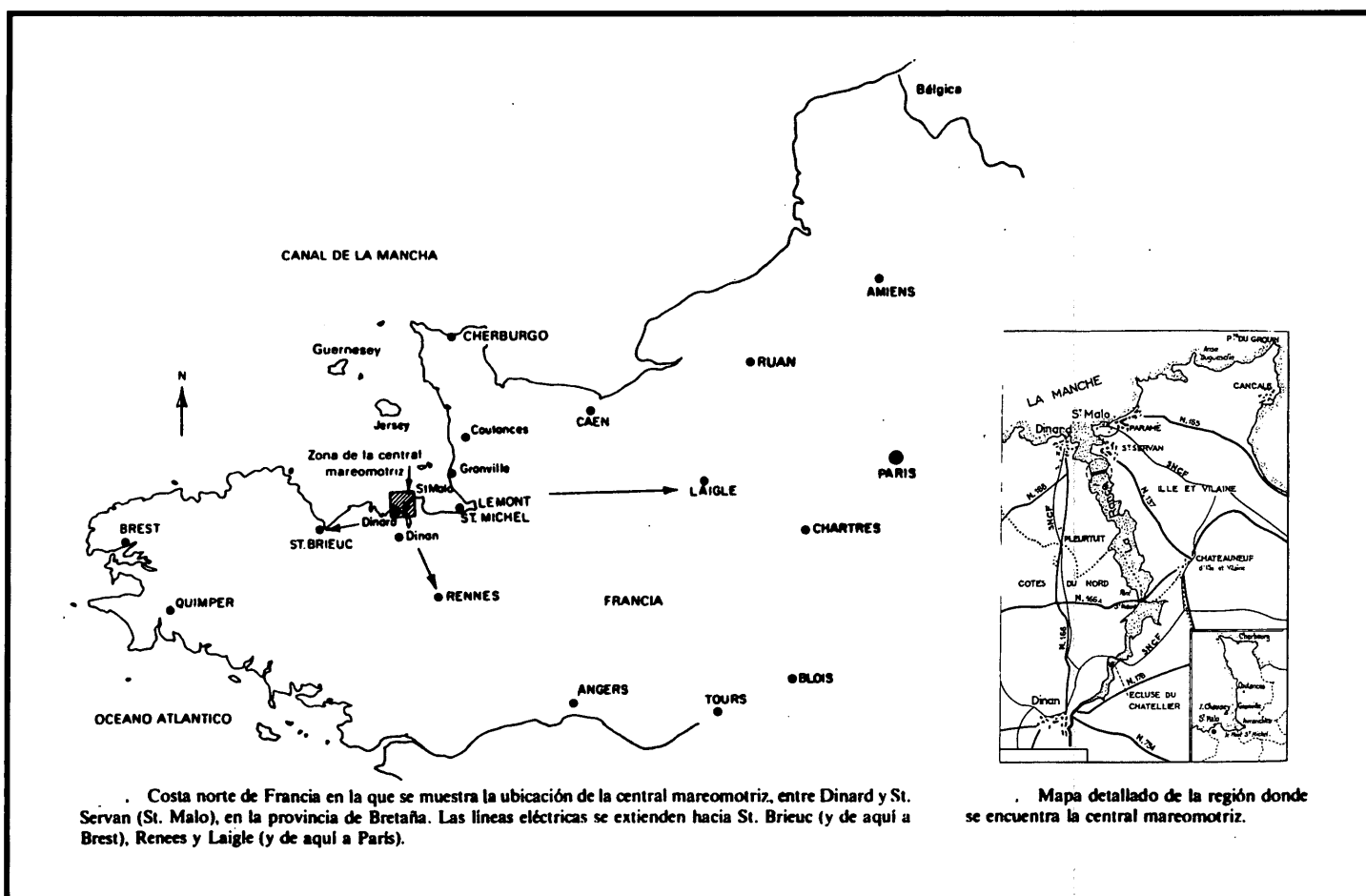


Figura 1. Mapa de la zona.

1906.- Un profesor de Física del colegio de Saint-Servant, Gaston Boucher, elaboró un proyecto para realizar en la desembocadura de La Rance, las siguientes obras:

- 1.- un puerto con calado profundo
- 2.- un puente asegurando la unión de Saint-Malo con Dinard
- 3.- una central mareomotriz con 192 turbinas de 200 CV.

1918.- Maynard, Ingeniero des Ponts et Chaussées, completaba los estudios hechos por M. Maire, en lo referente a una central sobre La Rance entre Saint-Malo y Dinard.

1920.- Mangin, Ingeniero de la Marina, continuaba el estudio de Maynard y tuvo la idea, para regularizar la energía de las mareas, de acoplar la central proyectada en La Rance con una central de la misma potencia a construir en la rada de Landervennec.

Mangin aprovechaba el hecho de existir una separación de cerca de dos horas entre la pleamar de Brest y la de St. Malo. Proponía enlazar las dos centrales mediante una línea eléctrica de 200 km. y además exponía que las superficies de los em-

balses creados por las centrales debían ser mayores de 72 km² en Landevennec y de 22 km² en La Rance.

Como la regularización no quedaría del todo completada, Mangin escribía en *La Revue General de Electricité* del 8 de mayo de 1920, “La red eléctrica del Estado proyecta extenderse en el futuro a toda Francia y será lógico unir la pareja Brest-St.Malo con centrales térmicas o hidráulicas del interior.” Mangin entendía que, con el desarrollo de las líneas eléctricas de interconexión, no sería necesaria una solución tan costosa como la que en el pasado otro tiempo había imaginado Belidor (General e Ingeniero francés 1697-1761), para aprovechar la energía de las mareas.

1951.- Después de largos y detallados estudios, hechos por los servicios de Etudes et Recherches d'Electricité de France, con los consejos de M.R. Gibrat, quedaba un proyecto completamente definido. Para su construcción se precisarían 8 años de trabajo y su coste se preveía en 620 millones de francos nuevos.

La central-presa se ubicaría entre la Punta de Briantais y la Punta de Brebis. Estaría equipada con 26 grupos Kaplan de eje vertical y de 8000 kw de potencia cada grupo. Diez compuertas automáticas de 15-16 metros, permitirían que el cau-

dal de las olas pasase al embalse, estando su nivel suficientemente alto. La producción de la central se estimaba en 500 millones de kwh. Su explotación se haría un tanto similar a la de los antiguos molinos de marea que había en las costas de Bretaña y cuyo origen se remonta al siglo XII. De ellos funcionaban todavía a comienzos del siglo XX, 14 molinos de marea construidos en distintas ensenadas del estuario de La Rance. En las costas del norte, en Ploumanach, en 1898 un molino de marea producía 450 kg. de hielo al día (Ver fig.2), destinado a la conservación de pescado.

Por diversas razones se retrasó hasta 1961 el inicio de la construcción de la central mareomotriz de La Rance. Durante el período 1952-1961 prosiguieron los estudios buscando novedades para llegar a la solución mejor y mas económica.

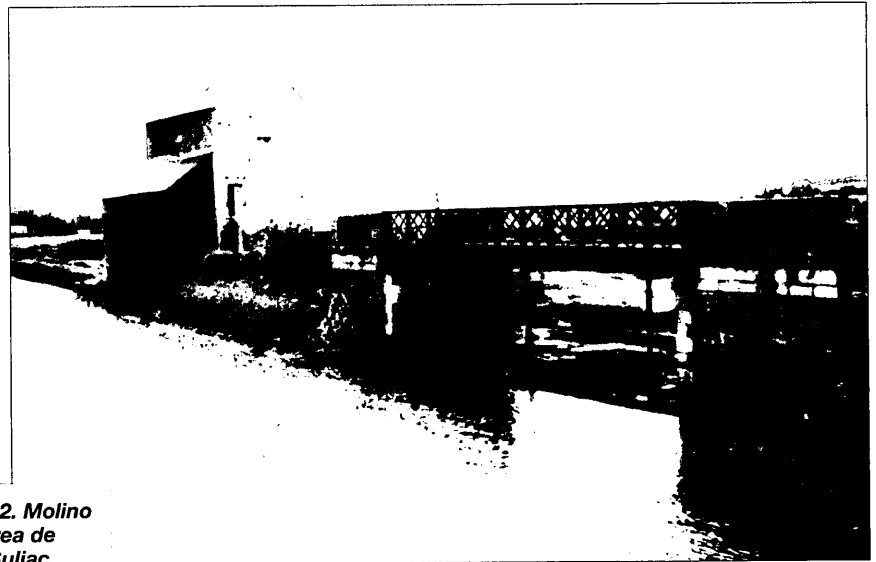


Figura 2. Molino de marea de Saint Suliac.

1.2. UBICACIÓN DE LA CENTRAL

La central mareomotriz de La Rance se ubicó entre la Punta de Briantais, en margen derecha del estuario, y la Punta de Brevis, en margen izquierda. El estuario del río Rance en este lugar tiene un ancho de 750 metros. El calado del agua es de 12 a 14 metros en mareas bajas, y alcanza 26 metros en la gran marea de equinocio. El lecho del estuario tiene granito de calidad media, lo suficiente para asentar la central, recubierto con una capa de espesor variable de arena y guijarros. A unos 150 metros de la margen derecha se encuentra una roca llamada Chalibert que queda casi cubierta en la gran marea.

La central está a 4 km. de la desembocadura del río, y por tanto queda al abrigo de vientos y tempestades provenientes del Oeste. Las condiciones idóneas para la implantación de una central mareomotriz se cumplen en este estuario, que constituye un lugar ideal pues:

- ▼ la carrera de marea es de gran amplitud (13.5 metros en mareas vivas)
- ▼ la anchura del estuario es relativamente pequeña (750 metros).
- ▼ el cimientto es favorable para ubicar las obras pues tiene roca de buena calidad.
- ▼ el dique de la central crea un embalse de 180 millones de m³ de capacidad.
- ▼ la dirección del río hace que la central esté al abrigo de tempestades.

1.3. LA UNIDAD DE BULBO Y SU FUNCIONAMIENTO

La unidad de bulbo tiene una turbina Kaplan y un alternador, ambos acoplados un mismo eje que está en posición horizontal. Genera energía turbinado en las 2 direcciones (hacia el

interior del estuario y hacia el mar). También puede bombear el agua, desde el nivel inferior al superior. (Ver fig. 3).

La turbina es una rueda de 5,35 m. de diámetro; sus álabes son ajustables y pueden girar alrededor de su eje, formando los ángulos que se indican después. Con ello se consigue puedan turbinar en uno y otro sentido y también bombear.

Potencia nominal	10.000 Kw
Diámetro del rotor	5,35 m
Número de álabes del rotor	4
Variación del ángulo de los álabes	-5° a +35°
Velocidad nominal	93,75 r.p.m.

El alternador está dentro de una carcasa con forma de bulbo, y en el interior de ella van instalados todos los instrumentos necesarios para el funcionamiento del alternador. Este puede trabajar, bien como generador (para turbinar), o bien como motor (para bombear).

El diseño de la unidad de bulbo satisfactoria exigió mucho trabajo experimental y diferentes estudios. En fig. 4b se pueden ver comparativamente la turbina del proyecto de 1951 y la que finalmente fue aceptada e instalada.

En el proyecto de 1951 el generador, de gran diámetro, tenía la disposición convencional de eje vertical y estaba encima de la turbina, a nivel más alto que el máximo nivel de agua. Esta idea inicial se desechó pues, siendo vertical el eje, para aumentar la velocidad de las turbinas se requería hundir la rueda Kaplan, para evitar cavitación, hasta una profundidad incompatible con el calado de agua allí existente.

En cambio en la solución adoptada, estando el generador bajo el agua, dentro de la carcasa con forma de bulbo y siendo el eje horizontal, no existen los antes dichos problemas.

Además se pudo hacer una estructura hueca, a lo largo del ancho del estuario, en la que están alojados los 24 grupos generadores, de 10.000 Kw cada uno, y todos sus accesorios.

Si no existiese el dique que cierra el estuario, el nivel de agua sería casi el mismo en ambos paramentos de la central y no produciría energía con magnitud aprovechable. Algo similar acaece estando abiertas todas las compuertas que ponen el estuario en comunicación con el mar abierto.

Para poner en funcionamiento los grupos de turbina-alternador interesa que la diferencia de niveles, a un lado y otro de la central, sobrepase cierta magnitud. Esto hace que la central no genere energía durante todas las 24 horas de cada día.

Estando la marea baja y siendo igual el nivel de agua en el estuario y en el mar, al comenzar subir la marea se mantendrán cerradas las compuertas y los grupos sin funcionar, hasta que la diferencia de niveles alcance el valor idóneo, momento en que los grupos deben empezar a funcionar.

Al alcanzar la marea su nivel máximo dejarán de funcionar los grupos. Solo cuando el mar haya bajado lo suficiente se reanuda el funcionamiento, pero ahora circulando el agua por las turbinas en sentido inverso, de estuario a mar.

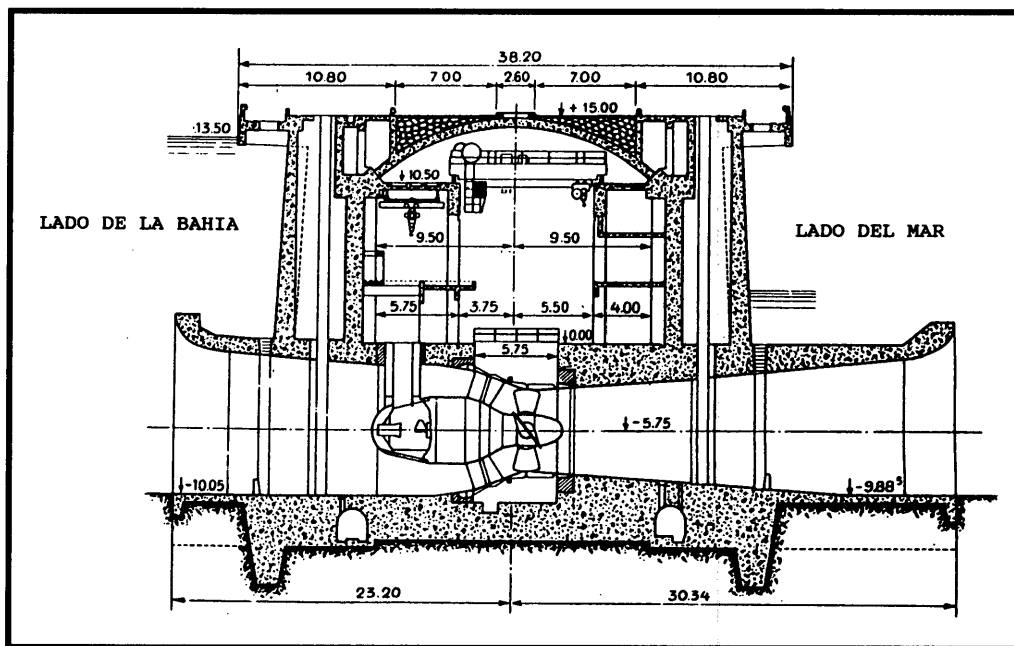
El aprovechamiento de la energía aumenta notablemente utilizando el bombeo. Estando mar y estuario con nivel prácticamente igual, se bombea agua del mar al estuario; se puede conseguir que el volumen de agua almacenado aumente cuantía importante y que el nivel del estuario sea mayor que el de la marea alta. En esta situación, al turbinar cuando la marea baja en sentido de estuario a mar, se obtendrá bastante más energía que si no se hubiese bombeado agua del mar al estuario.

El bombeo permite también una mejor adaptación del funcionamiento de la central a las horas punta y valle, que implican tarifas muy diferentes.

1.4. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Es la pieza esencial del conjunto, (central mareomotriz propiamente dicha) y tiene 24 grupos que ocupan una longitud total de 332 m. Con 24 grupos de 10.000 kw, su producción es de 550×10^6 kwh.

Figura 3. Sección de la central con unidad de bulbo.



Se ubica en una estructura de hormigón que, por su extremo izquierdo, enlaza con la esclusa y tiene 370 m. de longitud, 20 m. de ancho y 15 m. de altura. La estructura se apoya sobre un gran zócalo de hormigón de 10 m. de altura y 50 m. de ancho, en el cual se alojan los conductos hidráulicos de los 24 grupos de la central, cada uno con 13.30 m. de longitud.

El interior de la central queda como un largo túnel; su techo es una bóveda continua, (solo interrumpida por las juntas de dilatación), que tiene 20 m. de luz. Se calculó para soportar

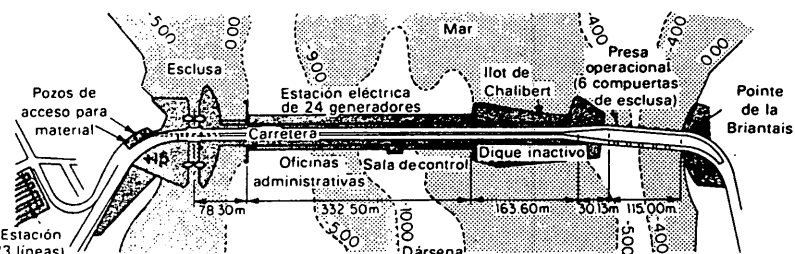


Figura 4a. Plano de la central.

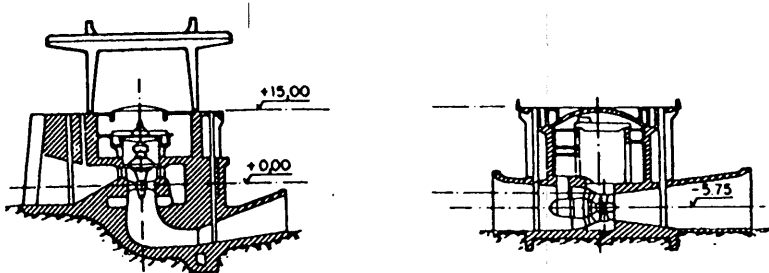


Figura 4b. Comprobación de turbinas.



Figura 5. Foto de la central ya acabada.

que la marea más baja; se extiende desde la sala de máquinas hasta un pozo de 22 metros de profundidad, perforado en la colina que domina la punta de Brebis.

Un solo regulador comanda cuatro grupos y cada dos conjuntos de cuatro grupos suministran energía a un mismo transformador que eleva la tensión a 225 kilovoltios. La energía producida se evacua por cables con aceite a presión, hacia un castillete exterior, situado en la margen izquierda del estuario.

sobre ella una carretera nacional con doble vía de circulación. Por encima de la central y a lo largo de ella, circulan cuatro puentes grúa rodantes de 90 toneladas.

Para dimensionar la estructura se tuvo muy en cuenta que bajo los efectos (por separado y conjuntamente) del empuje del agua y de sobrecargas en la carretera, no lleguen a producirse tracciones que originen fisuras; particularmente en la unión con el zócalo. Por ello las paredes de la central, tanto del lado del mar como del estuario, son de hormigón armado con espesores amplios, y cada 13,30 metros están reforzadas mediante contrafuertes bien encastrados en el zócalo.

No hay ninguna estructura en toda la longitud de la central-presa, que sobrepase el nivel + 15 m., (1,50 m. por encima de la marea equinocial más alta). Por ello podría decirse, (en términos figurados), que la presa de la Rance parece en marea alta como una regla posada sobre el agua. (Ver fig. 5).

Dentro de la central y a nivel de su suelo, (1 m. por encima del nivel mínimo de marea), están las fosas en las cuales se apoyan las partes metálicas de los conductos hidráulicos. A los lados de las fosas se disponen los locales requeridos por la explotación de la central: regulador, aparellaje eléctrico, y para la transformación de la energía.

La extremidad de la orilla izquierda de la central comprende un cierto número de celdas reservadas a almacenar los transformadores durante el montaje y desmontaje de los grupos. Para asegurar el acceso a las máquinas y los transformadores, hay bajo la esclusa una galería a nivel 7 m. más bajo

1.5. OBRAS ANEJAS A LA CENTRAL

Además de la central propiamente dicha, en La Rance se construyeron las siguientes obras anejas:

a) Esclusa

Para asegurar la navegación por el río Rance, se construyó cerca de la punta de Brebis, (margen izquierda), una esclusa cuyo interior mide 66 m de largo y 13 m de ancho. Permite a los barcos salvar el desnivel que en cada momento pueda existir entre la bahía y el mar.

Las compuertas de esta esclusa son de sector, con eje vertical, alojadas en huecos del muro de contención. Según sean los niveles respectivos del embalse y del mar los brazos de las compuertas sector trabajan a compresión o a tracción.

b) Dique con compuertas

Próximo a la punta de Briantais, (margen derecha), se construyó un dique de hormigón dotado de compuertas. Cuando no funcionen los grupos hidroeléctricos de la central, se puede hacer posible, accionando las compuertas, que el agua del mar entre en el estuario al crecer la marea, y que salga mientras la marea desciende.

Hay 6 vanos cerrados por compuertas vagón de 15 metros de ancho y 10 metros de altura; por ellos pueden pasar cauda-

Figura 6. Recinto desecado.

les muy importantes, que alcanzan 4.000 m³/sg., para una diferencia de nivel de 1 metro entre mar y estuario en la fase de marea creciente.

En la primera etapa de construcción de la central estas compuertas se utilizaron para aliviar la carga de agua que se creaba al interrumpir los ataguiados el flujo del agua hacia el interior del estuario. (Ver fig. 4a).

c) Dique de escollera

De los 750 metros que tiene de ancho el estuario, y contando de izquierda a derecha, la esclusa ocupa en total 90 m, la central hidroeléctrica 370 m, y el dique de compuertas 140 m.

Por tanto para cerrar completamente el estuario queda, entre central y dique de compuertas, un espacio de 150 m. Allí se construyó un dique de escollera que lleva en su interior una pantalla de hormigón para asegurar la estanqueidad.

1.6. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS Y DIFICULTADES ENCONTRADAS

Las obras se ejecutaron después de dejar en seco las superficies sobre las cuales quedarían asentadas; esto por razón de que tanto la central como la esclusa y el dique de compuertas son estructuras de hormigón; para el dique de escollera se procedió del mismo modo puesto que lleva en su interior un diafragma de hormigón para conseguir la debida estanqueidad.

No era posible poner simultáneamente en seco la totalidad del área a ocupar, por ser necesario que el agua del mar penetre en el estuario cuando sube la marea. teniendo esto en cuenta se dividió la zona en tres recintos distintos: (Ver fig. 6)

- ▼ Un recinto inmediato a la margen izquierda para la esclusa.
- ▼ Un recinto junto a la margen derecha para el dique con compuertas.
- ▼ Un gran recinto para la central hidroeléctrica y el dique de escollera; este último aprovechó los escombros rocosos provenientes de la excavación de la central.



En una primera fase, se ataguiaron los dos recintos laterales y se ejecutaron las obras en ellos asentadas. En segunda fase, el recinto para central y dique de escollera. Se procedió así para no interrumpir en ningún momento la navegación por el río Rance, ni tampoco que las oscilaciones de las mareas penetren en el estuario. Antes de comenzar el ataguiado del gran recinto central tenía que estar en servicio la esclusa y disponible la abertura de 900 m², ofrecida por las compuertas del dique.

1.- Ataguiado para la esclusa.

Se ejecutó de forma relativamente cómoda pues, estando la esclusa junto a la punta de Brebis (margen izquierda), se pudo construir durante las horas de baja mar, un muro de hormigón anclado a la ladera rocosa. Realizado este muro fue más fácil la ejecución del resto del ataguiado, con calado pequeño en marea baja, y a continuación construir la esclusa.

2.- Ataguiado para el dique de compuertas.

Los dos extremos del dique, el derecho inmediato a la punta de Briantais y el izquierdo junto a la isla de Chalibert, aprovecharon el reducido calado para construir directamente muros de hormigón, en condiciones similares a como se hizo para la esclusa.

En el resto del dique la atagüa se realizó mediante cajones cilíndricos de 19 m. de diámetro y 20 m. de altura. (Ver Figura 7). Cada cajón, formado por dovelas metálicas en torno a una armadura metálica, se transportaba mediante un remolcador.

El cajón tenía pies de altura regulable para adaptarse al fondo que había sido previamente tratado.

Cuando las planchas estaban colocadas se sometían a empujes verticales para hacerlas penetrar 1 ó 2 cm. en la roca más o menos alterada. Antes de rellenar de arena el cajón, un cordón anular de piedras calibradas cerraba todo el perímetro interior de su base y además, para asegurar una mejor estanqueidad, un cordón de sacos de arcilla era colocado por hombres rana en el contorno exterior. Cada cilindro era estable por sí mismo. Después se enlazaban entre ellos mediante arcos de pequeño radio.

Comenzaron las obras en 1961. El ataguado, hecho con 17 cajones metálicos de forma cilíndrica y colocados uno al lado del otro, fue terminado en el mes de octubre del mismo año. Luego que el área ataguada quedó en seco, comenzó la construcción del dique y a continuación el montaje de las compuertas. Tal como previsto, se demolieron las ataguías a tiempo para poner en servicio los vanos, con 900 m² de sección total, dando paso al agua a través del dique, unos días antes de la marea equinocial de Marzo de 1963.

3.- El recinto grande.

Este recinto se realizó construyendo dos grandes ataguías, una del lado del mar y la otra del lado del estuario. Las dos ataguías presentaron bastantes problemas, en particular la primera; esto por razón de ser el mar apreciablemente más profundo que en las zonas antes descritas de esclusa y dique con compuertas y por el motivo expuesto a continuación.

Ya en modelo hidráulico se había visto que al reducir el cauce de La Rance, se hacía prácticamente imposible la construcción de cilindros como los del dique de compuertas

pues las corrientes llegaban a ser muy fuertes, al ir cerrándose la separación estuario-mar. Entre ambos era grande la diferencia de nivel de agua y los esfuerzos sobre los cilindros en curso de construcción eran tales que su estabilidad no estaba asegurada.

Sobre la longitud de 600 m. que existe entre la esclusa y el dique de compuertas, se podía construir unos 240 m. siguiendo el procedimiento que para aquellos se utilizó. Para los 360 m. restantes era preciso buscar otro método. Fue M. Albert Caquot, de Electricité de France y miembro de la Academia de Ciencias, quien encontró solución al problema. La idea directriz es la siguiente:

- ▼ 1. Colocar primero sobre la traza de la ataguía cajones cilíndricos de hormigón armado de 9 m. de diámetro y de altura variable entre 20 y 25 m. Una vez ubicados en su lugar se hundían ayudados por el peso de una masa de arena; esta operación se hacía aprovechando los intervalos de marea muerta. Resultaba así un cierto número de apoyos intermedios (Ver fig. 7) espaciados 18 ó 21 m. que cuando estaban colocados no obstaculizaban el paso del agua.
- ▼ 2. Transformar estos apoyos aislados en apoyos más estables, uniendo dos cajones vecinos por una celda de planchas que se rellenaba de arena. En primera fase no se cerraba más que un intervalo de cada dos.
- ▼ 3. Cerrar, al fin, el intervalo intermedio con celdas de planchas, como las precedentes.

Este modo de acción entraña la ventaja de que la estabilidad de la obra, débil en un comienzo, cuando el paso ofrecido al mar era grande, crecía a medida que este se reducía y en consecuencia aumentaba el desnivel de agua entre el mar y el estuario, desnivel que se traducía en un empuje importante.

Los cajones, contruidos en el puerto de Saint Maló, tenían una tapa metálica para cerrar su parte superior y poderlos transportar, flotando horizontalmente, hasta su lugar de ubicación. (Ver fig. 7). Antes de hundir los cajones, era preciso preparar su emplazamiento bajo el agua. A este efecto se construyó, también en Saint Maló, un gran cajón de hormigón y acero de 25 m. de altura, 22 m. de largo y 15 m. de ancho, pesando 3.000 toneladas y equipado con aire comprimido.

El cimient, construido con ayuda de este ingenio, era una losa de hormigón con una oquedad en la que se alojaba el cajón de ataguado. La oquedad tenía suficiente holgura, en relación con las dimensiones del cajón, para que este pudiese colocarse con facili-

Figura 7. Foto de un cilindro.



dad. No obstante tal maniobra requirió bastante meticulosidad; primero se fijaban dos cables en la coronación del cajón y diametralmente opuestos. Unos hombres rana hacían pasar estos cables por una pieza guía anclada en la roca y los llevaban a dos cabrias fijas en un pontón. Se ejercía entonces una tracción de 20 toneladas por cable al mismo tiempo se abría una compuerta del cajón para que este se llenase de agua. Así se hundía progresivamente, cuidando que se mantuviese vertical hasta llegar al cimiento. A continuación se llenaba de arena.

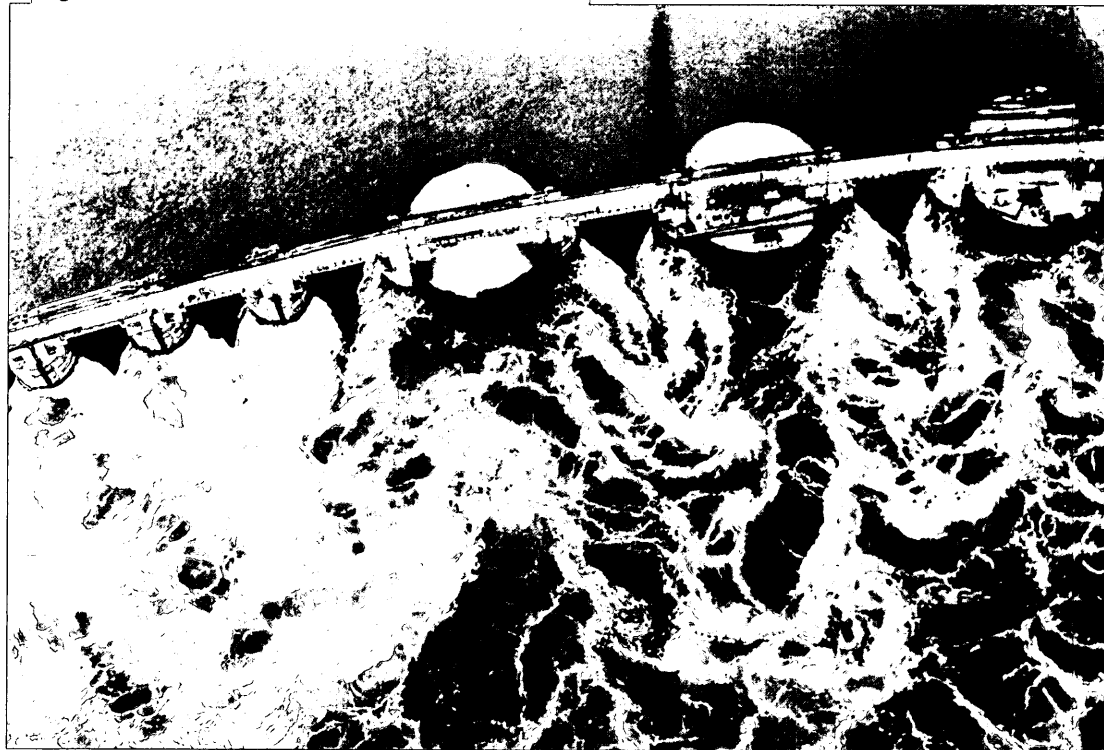
Luego era preciso cerrar los intervalos comprendidos entre cada dos cajones por los cuales pasaban ya fuertes corrientes. La primera operación consistía en cortar estas corrientes, haciendo descender por unas ranuras preparadas al construir el cajón, unas placas de hormigón en la parte baja y unas vigas metálicas en la parte superior.

Los esfuerzos que el empuje del agua desarrollaba sobre los elementos del ataguado (podían alcanzar 3.000 toneladas para un cajón de 24 metros de altura) se compensaban con cables de 50 a 60 m/m de diámetro anclados al cajón.

Comenzó en octubre de 1962 la construcción de las células de la primera fase, y una de ellas fue acabada al comienzo de 1963. En junio todavía faltaban por construir 7 celdas y, aunque la marea era menos fuertes que la de equinocio de primavera, la diferencia de nivel del agua entre mar y estuario no cesaba de crecer; el 24 de mayo era de 2 metros y el 24 de junio alcanzaba los 3



Figura 8. Fenómeno desarrollado. Gran turbulencia.



metros. El 4 de julio los últimos intervalos estaban cerrados por las planchas de corte provisional. Como entonces sólo quedaba libre el espacio de 900 m² que resulta al abrirse las compuertas, la diferencia de niveles de agua era 3,3 m. el 8 de julio.

Figura 9. Kislaya-Guba, Península de Kola.

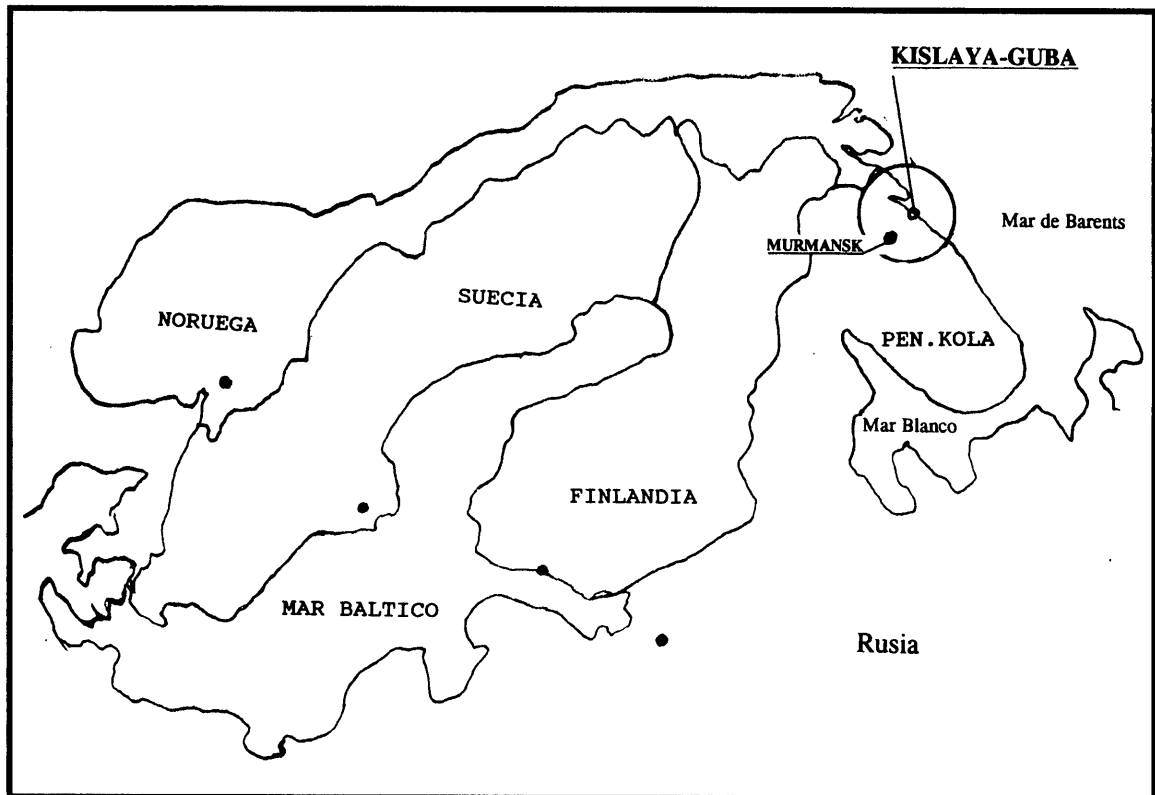
Las células se terminaron de colocar el 20 de julio de 1963. Cerrando las 6 compuertas del dique La Rance se convertía en un lago cuyo nivel puede variarse abriendo las compuertas. Todas las obras de ataguado acabaron en octubre. A continuación comenzó la extracción del agua del recinto que, con superficie de 100.000 m², quedó totalmente vacío en enero de 1964. Se producían surgencias de agua en el contorno del recinto, en un principio con caudal de 4.200 m³/hora. Después de algún tiempo y con las correspondientes correcciones, se mantuvo en el entorno de 2.500 m³/hora, que corresponde a 0,6 litros/seg. y metro lineal de ataguía.

Tras dos años de trabajo, a finales de 1965, el grueso de la obra estaba hecho y una docena de grupos enteramente montados, y en agosto comenzó el funcionamiento de la central, produciendo los primeros kw.hora. El 26 de noviembre de 1966 la central fue oficialmente inaugurada por el entonces Presidente de la República, General De Gaulle.

1.7. COMENTARIO FINAL

En las semanas precedentes al 20 de Julio, cuando sólo algunos intervalos quedaban por cerrar, el agua salía por las aberturas en forma de lámina casi vertical, y producía un efecto de succión en las dovelas de las grandes células. Resultaba un espectáculo grandioso y bello, pues los chorros de agua se mezclaban en una masa blanca de espuma que sobre 300 ó 400 m. brillaba como un campo de nieve; pero al mismo tiempo pavoroso para los ingenieros ocupados de la obra, quienes pensaron podrían producirse daños de cierta importancia (Ver fig. 8).

Tal temor era fundado. Los indicados flujos de agua produjeron erosiones intensas en el terreno de cimentación. A pesar de ser rocoso, sufrió una socavación que alcanzó los 3 m. de profundidad en una longitud importante; varios cajones experi-



mentaron un subhundimiento. Todo esto aunque previamente los estudios se habían desarrollado meticulosamente y no se habían escatimado gastos para la realización de las obras.

En síntesis puede decirse que la central mareomotriz de La Rance sigue siendo un ejemplo técnico a seguir, en cuanto a como aprovechar la energía del agua en ese estuario. Pero posteriormente han sido importantes los progresos referentes a como proyectar estas centrales para que la ejecución de sus obras sea más sencilla, más segura y más eficaz.

2. CENTRAL DE KISLAYA-GUBA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL

Según se ha expuesto, La Rance se acabó de construir en 1967 pero dejó una serie de problemas sin resolver y además su proceso constructivo resultó muy costoso.

Por ello cuando la antigua Unión Soviética, en cuyas costas el potencial mareomotriz alcanza los 210 millones de Gwh/año, decidió acometer la construcción de la que sería su primera central mareomotriz, optó por seguir la técnica desarrollada por los holandeses al construir las obras del llamado Plan Delta.

Considerando el carácter experimental de esta central, se eligió Kislaya-Guba como lugar de ubicación. Está en la costa norte de la península de Kola, en el Océano Ártico, a unos 100

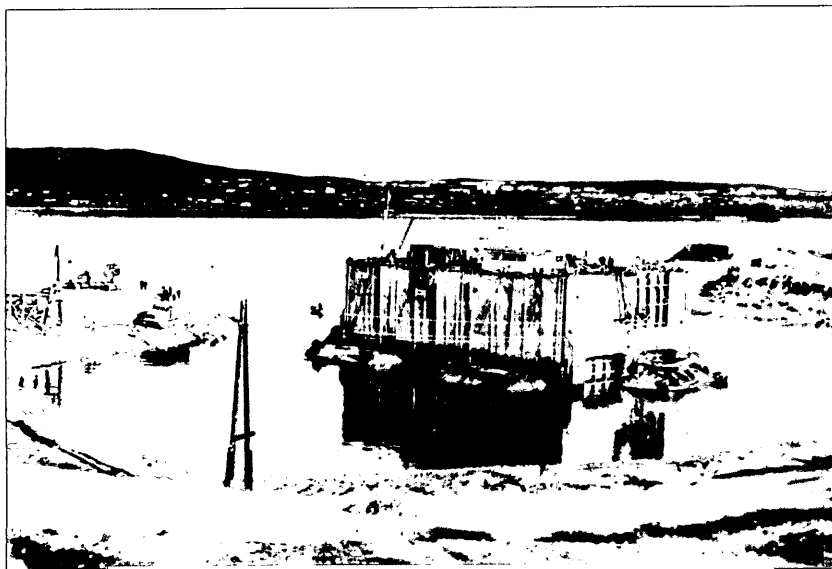


Figura 10. Cajón flotante dentro de la hondonada ya inundada.

km de Murmansk y cerca de la frontera con Finlandia (ver fig.9).

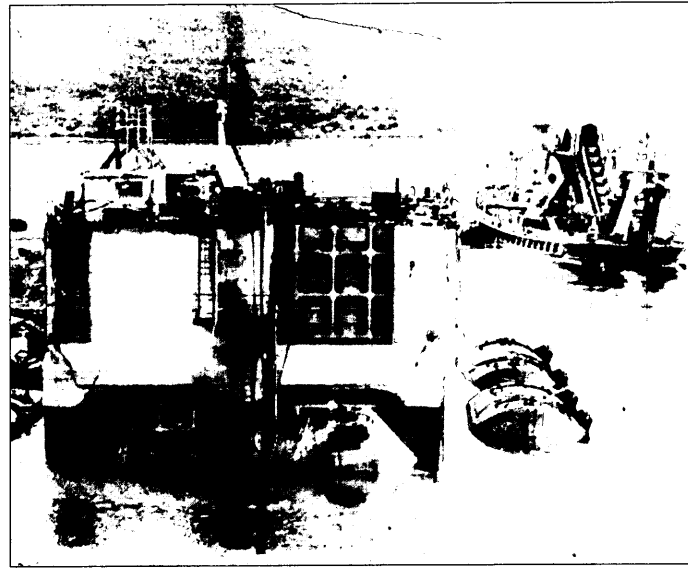
Allí la carrera de marea no sobrepasa los 3,9 metros, pero la embocadura de la bahía, que tiene 1,4 km² de superficie, es bastante estrecha y su profundidad oscila entre 4 y 5 metros. Con ello las obras anejas a la central, necesarias para cerrar el paso del agua, son de coste moderado y tal ubicación resultó más ventajosa que otras con mayor carrera de marea pues, como antes se ha dicho, se trataba de una central experimental con fines científicos más que de explotación.

2.1. PROCESO CONSTRUCTIVO

Tras largo período de estudios e investigación, desarrollado en diversos Institutos bajo la supervisión de L.B. Bernstein, se llegó a la conclusión de que era preferible seguir el ejemplo de los holandeses y construir en tierra firme un cajón de hormigón armado, ubicando en su interior todo lo necesario para producir energía eléctrica: turbinas, alternadores, etc. Después se llevaría flotando hasta su definitivo emplazamiento.

Lógicamente el cajón y demás estructuras de hormigón deben apoyar sobre una cimentación que asiente solo valores suficientemente pequeños.

El fondo donde se ubicó la central eran sedimentos de 5m a 7m de espesor, predominantemente arena pero tam-



bién bolos de diámetro entre 0,5m y 1,0m. Unos estudios y ensayos de ellos mostraron que era necesario someterlos a un proceso de consolidación.

Para lograrlo y además conseguir una superficie horizontal, estos sedimentos fueron excavados hasta la profundidad de 5m mediante una grúa flotante de 10 Tm. El volumen total excavado fue de 25.000 m³. Hubo que emplear cargas de dinamita para fragmentar algunos de los bolos rocosos. Esta excavación subacuática implicó bastantes dificultades y resultó de elevado costo.

Terminada la excavación se extendieron capas de material ad-hoc y espesor de 0,5 m, compactadas mediante pisones vibrantes. Los ensayos electro-dinámicos y el modelado del fondo mostraron que el cimiento de la central quedaba en condiciones idóneas y suficientemente impermeable. Finalmente se procedió a nivelar con exactitud la superficie mediante un rastrel sumergido en el agua que se desplazaba a lo largo de

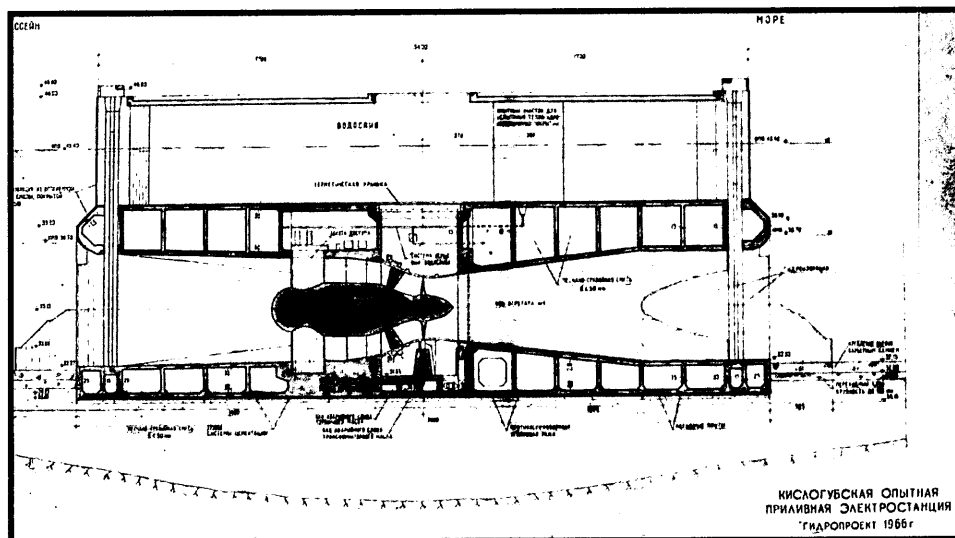


Figura11. Sección del bloque de la central.

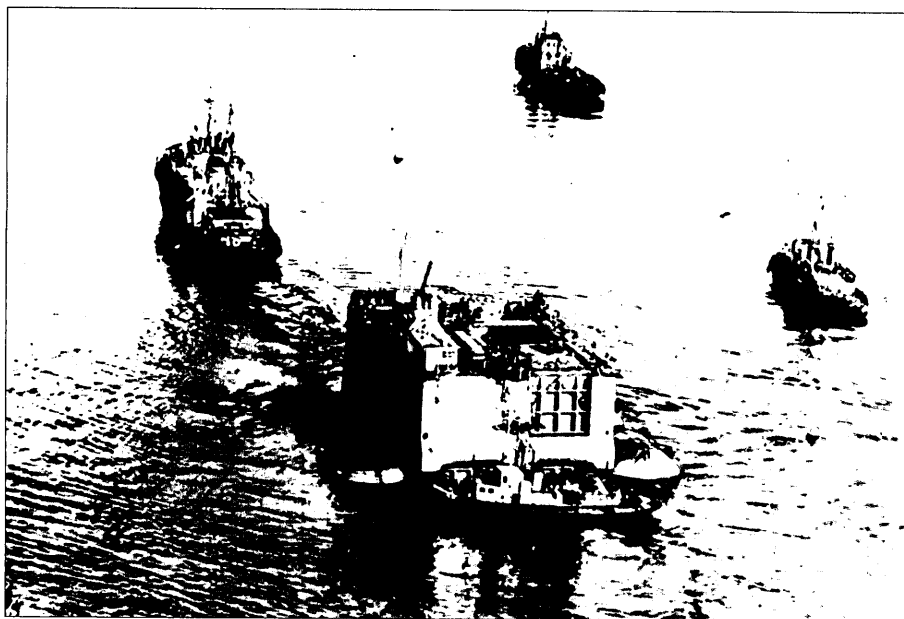


Figura 12. Remolcando el cajón a Kislaya-Guba.

nor calado de agua, se le aplicaron 6 flotadores con una fuerza ascensional de 400 Tm. Así el calado quedó reducido a 6,3 m.

Para trasladar el cajón se utilizaron 2 remolcadores de 2.000 C.V cada uno. Un pequeño remolcador con 350 C.V sirvió de auxiliar direccional, hasta salir a aguas profundas y al colocarlo en su posición definitiva (ver fig.12). El tiempo total de remolque hasta Kislaya-Guba fue de 18 horas y 20 minutos. En la zona de mayores profundidades y en la 2a hora hubo olas de 1,5 metros de altura y vientos de fuerza 4.

Se aprovechó la baja-mar para sumergir el cajón hasta tocar fondo. Primero se llenó de agua su parte inferior y después este agua se reemplazó con arena. La operación fue un éxito

total pues se consiguió sin desviaciones apreciables (ver fig.13).

El cajón tenía en su borde inferior una pieza metálica con sección angular y extendida a todo el contorno. El filo cortante con una altura de 25 cm, se hizo penetrar en el fondo nivelado previamente (ver fig.11). Así se consigue que no se produzcan erosiones en el terreno y se garantiza su impermeabilidad.

La capacidad de la central mareomotriz de Kislaya-Guba se fijó de acuerdo con la energía potencial de la bahía. Siendo 1,14 km² el área de la bahía y 2,30 m el promedio de la marea, resulta una potencia de 2.000 kw.

Tal potencia puede aprovecharse mediante 5 unidades de 400 kw cada una, pero de los estudios realizados se dedujo que, para resultar ventajoso el aprovechamiento total de la marea, son necesarias mayores superficies y mayores carreras de marea. Por eso solo se instalaron 2 unidades de 400 kw. Las turbinas, con diámetro de 3,3 m, están acopladas a un generador síncrono que

El cajón, con 15,3 m de alto, 18,3 m de ancho y 36 m de longitud, tenía un volumen de 10.080 m³. Con turbinas y alternadores pesaba 5.200 Tm y al ponerlo en flotación su calado sería de 8,3 m. Para evitar que encallara en zonas con me-

to total pues se consiguió sin desviaciones apreciables (ver fig.13).

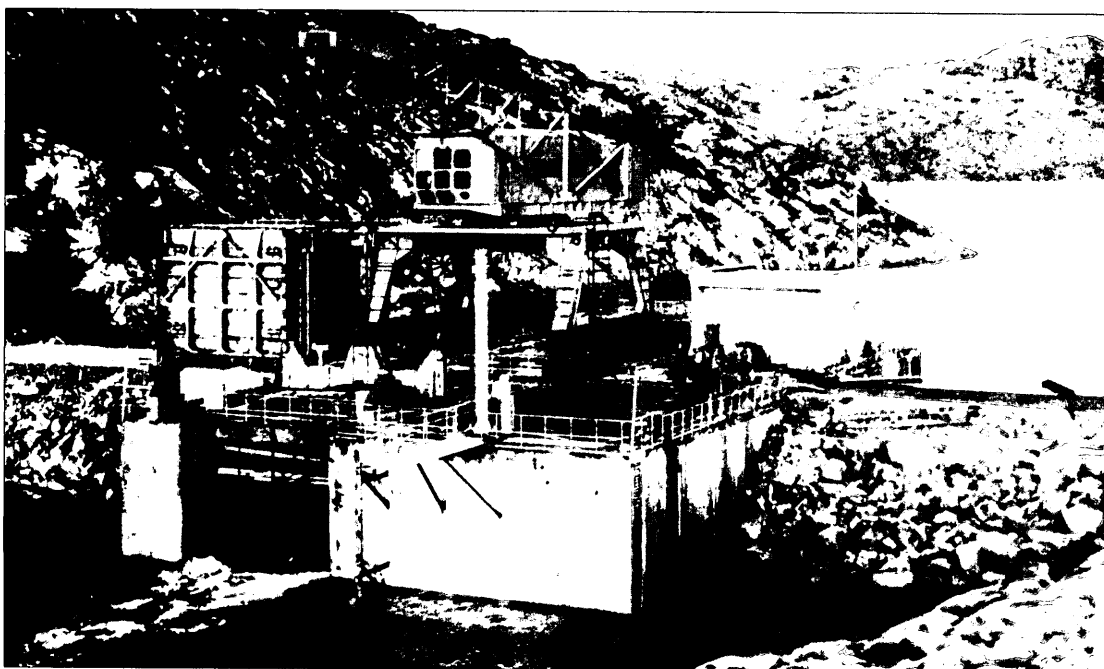


Figura 13. Central mareomotriz de Kislaya-Guba, con turbinas, aliviadero, etc.

gira a 72 r.p.m.; posteriormente se ha pensado en sustituirlo por generador asíncrono.

3. FUTURAS CENTRALES MAREOMOTRICES

Del análisis de los problemas e inconvenientes encontrados al construir centrales mareomotrices se pueden deducir soluciones para conseguir en futuras centrales mayor eficacia y economía. Este fue el objetivo fundamental de la Tesis Doctoral que presentó el autor de este artículo.

3.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIPOLOGÍAS

Los procesos constructivos aplicados en La Rance y en Kislaya-Guba fueron esencialmente distintos. En La Rance, mediante un sistema de ataguado, se dejó en seco prácticamente toda la zona a ocupar por la central propiamente dicha y por sus obras anejas; con excepción únicamente de las obras ubicadas junto a las márgenes izquierda y derecha del estuario, esclusa para barcos y dique de compuertas, siendo la razón de tal distinción el diferente calado o profundidad del fondo marino.

Habiendo dejado en seco la superficie sobre la cual apoyará una obra de fábrica, esta se puede construir con mayor garantía de que la estructura y el material empleado en ella satisfacen las condiciones necesarias para la seguridad de la obra. Debido a ello tal proceder se sigue habitualmente para las presas en ríos, aunque el caudal fluyente sea grande.

El ataguado de La Rance mediante cilindros semi-fabricados antes y rellenos con material (en aquel caso arena) para que su peso pueda resistir los empujes marinos debidos a variación de marea y oleaje, fue sin duda una idea acertada. Pero resultaron grandes inconvenientes que esencialmente son:

- a) en el relleno de los cilindros de ataguado, para que resistan los empujes marinos, hubo que emplear gran cantidad de arena, causando alteración en zonas del entorno.
- b) el sistema de ataguado implicó un coste muy elevado; al coste de su construcción se sumó el coste de su demolición, necesaria para permitir el paso del agua a través de la central y para liberar el lugar del aspecto poco estético que las ataguías presentaban.
- c) el tiempo empleado en la construcción se hace más largo; resultó de 3 años en La Rance.
- d) antes de cerrar los espacios entre cilindros ya colocados se producían en ellos, principalmente al subir la marea, intensas corrientes de agua ocasionando fuertes erosiones en el fondo; resultó necesario realizar trabajos de reparación nada despreciables.

Tales resultados y el hecho de haberse construido en Holanda diversos diques mediante cajones flotantes, fueron el motivo de aplicar en Kislaya-Guba la tipología de central y el proceso constructivo que han sido descritos.

Está claro que frente a los inconvenientes antes indicados, un sistema de ataguado tal como se hizo en La Rance, al hacer accesible el fondo, permite realizar en él las operaciones de excavación, compactación e impermeabilización que fueren necesarias.

Pero también se ha expuesto como estas operaciones fueron realizadas en Kislaya-Guba bajo el agua, con resultado plenamente satisfactorio. Naturalmente su coste fue más alto que si se hubiesen realizado al descubierto, pero entre ellos hubo una diferencia bastante menor que el coste de las ataguías.

Lógicamente para la decisión entre cajones prefabricados o ataguado influirá la naturaleza del fondo marino. Este puede ser:

- A) Rocoso en su totalidad, lo cual es muy raro.
- B) Partes con roca visible y otras cubiertas de sedimentos.

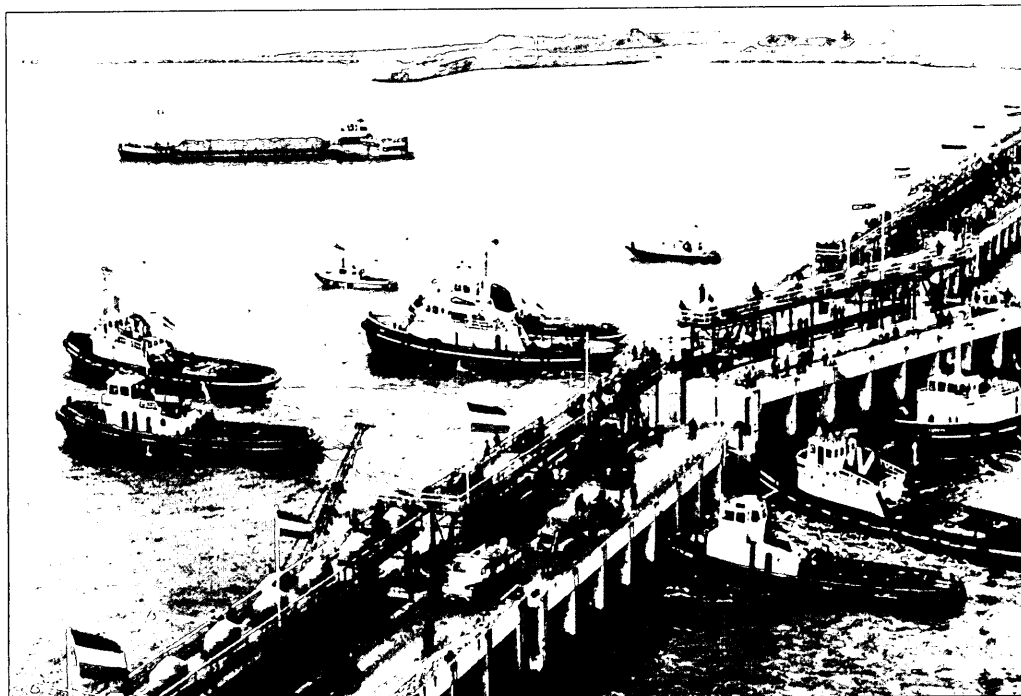


Figura14. Posicionando los cajones.

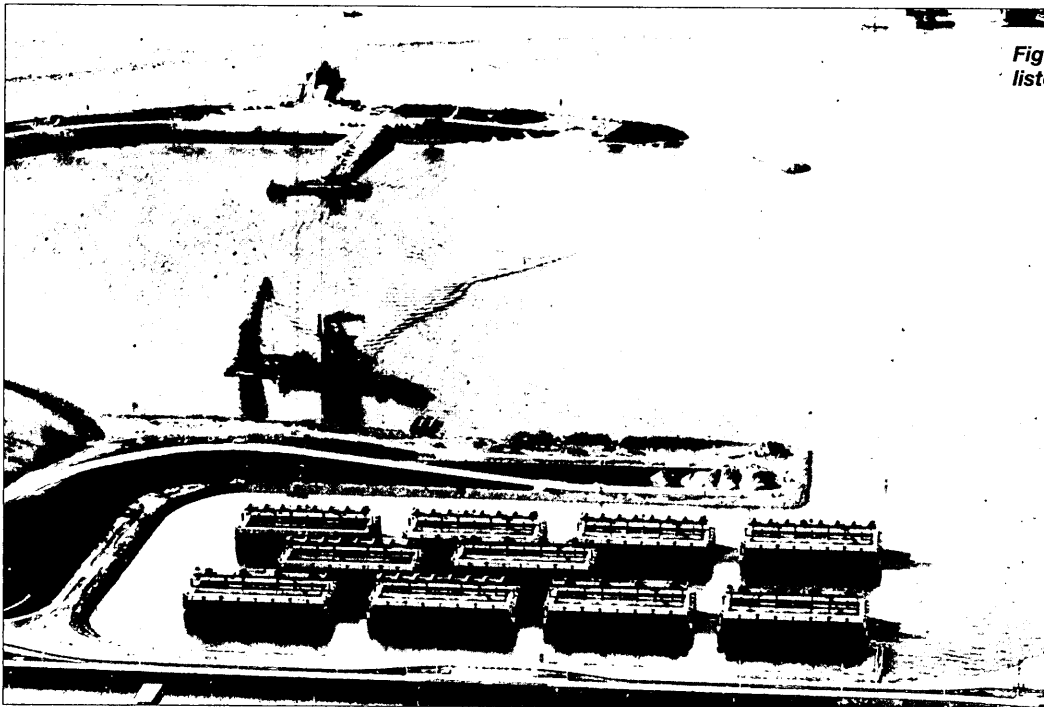


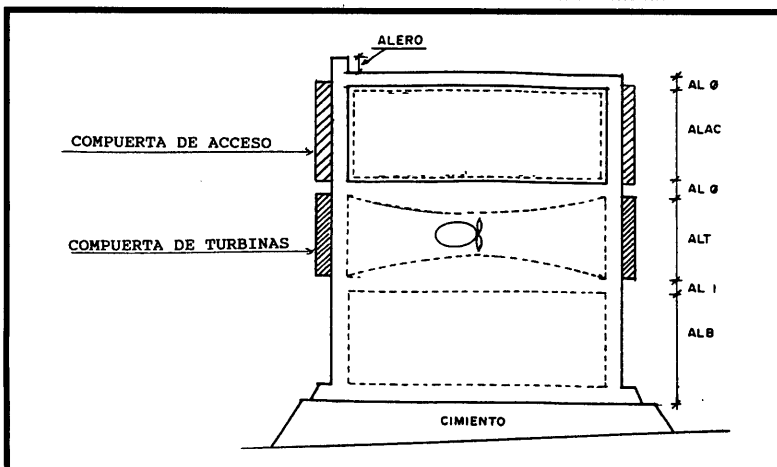
Figura 15. Cajones ya construídos y listos para ser remolcados.

C) Cubierto de una capa más o menos gruesa de sedimentos; lo más frecuente.

Más adelante se describen los temas relativos a la cimentación pero, con independencia de este aspecto, los cajones prefabricados tienen en resumen las siguientes ventajas:

- A) El trabajo de construcción de los cajones es independiente de la propia obra (ver fig. 15).
- B) Los cajones ya ubicados permiten crear un muelle para facilitar el acceso de materiales y mano de obra (ver fig. 14).

Figura 16.1. Sección del cajón con compuertas de acceso y turbinas.



se originen erosiones importantes. Así sucedió en La Rance y luego hubo que hacer reparaciones nada despreciables.

Antes de intervenir el Hombre se habrán producido de modo natural erosiones en el fondo, y se pueden seguir produciendo si no queda debidamente protegido el cemento. Pero durante la construcción, al ir aumentando la longitud del dique, el agua ve obstaculizado su paso cuando sube o baja la marea y fluye hacia la zona donde todavía no se ha construido (ver fig.17.1). Se crea una diferencia de nivel entre el mar y la bahía, aumenta la velocidad del agua, y puede llegar a producirse un efecto erosivo importante.

Figura 16.2. Sección del cajón sin compuertas de acceso y turbinas.

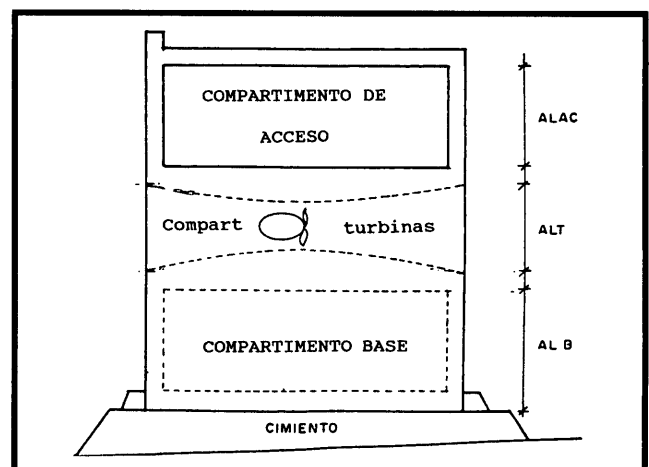


Figura 17.1. El agua fluye por la seccion sin cajones de forma turbulenta.

Actuando con cajones, el modo mas económico y eficaz de evitar tales eventuales erosiones es dejar en los cajones aberturas de comunicación entre el mar y la bahía, para que por ellas circule suficiente caudal de agua y se mantenga igual nivel a un lado y otro del dique (ver fig.16.2 y fig.17.2). De este modo no habrá peligro de que el movimiento del agua, como consecuencia de la marea, genere erosiones en el cimiento.

Estas aberturas se cerrarán después de haber finalizado la construcción del dique (ver fig.16.1 y fig 18). Se plantea la cuestión de en cuantos cajones será necesario dejar aberturas para que la velocidad del agua sea suficientemente moderada.

Para conocer con exactitud la velocidad del agua en cada lugar habrá que realizar cálculos con elementos finitos teniendo en cuenta superficies zonales, calados de agua, rozamiento con el terreno, etc. Pero como muestra orientativa con valores extremos máximos se adjunta el siguiente cuadro donde la velocidad del agua es la raíz cuadrada de dos veces el producto de la aceleración de la gravedad, por el desnivel entre el mar y la bahía. (enseñada)

h (m)	v (m/seg)
0,25	2,2
0,5	3,1
0,75	3,8
1,0	4,4
2,0	6,3
3,0	7,7

En bastantes centrales, y en particular en La Rance así se hizo, un tramo del dique se deja con aberturas que se cierran mediante compuertas. Cuando la central no funciona se abren

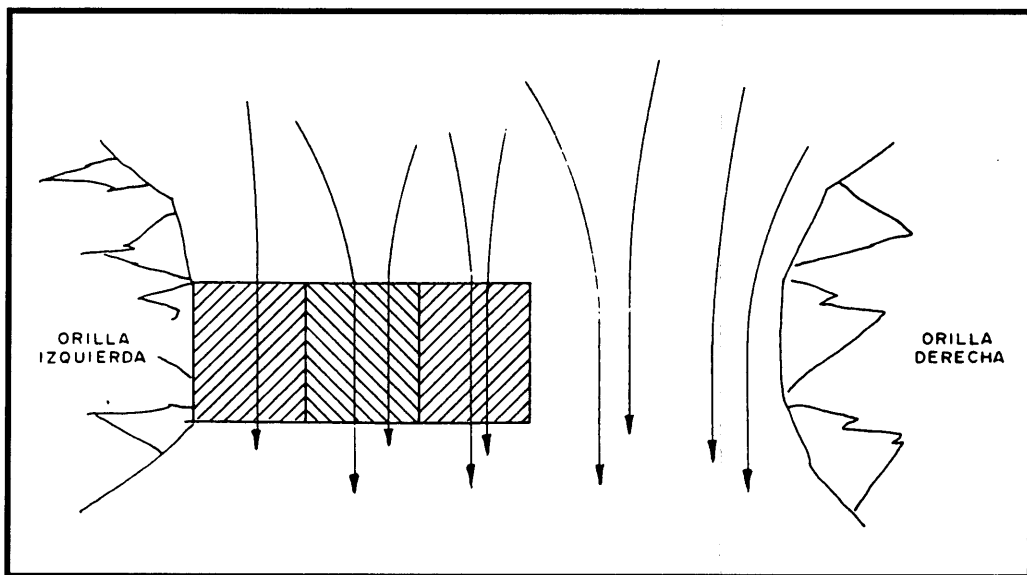
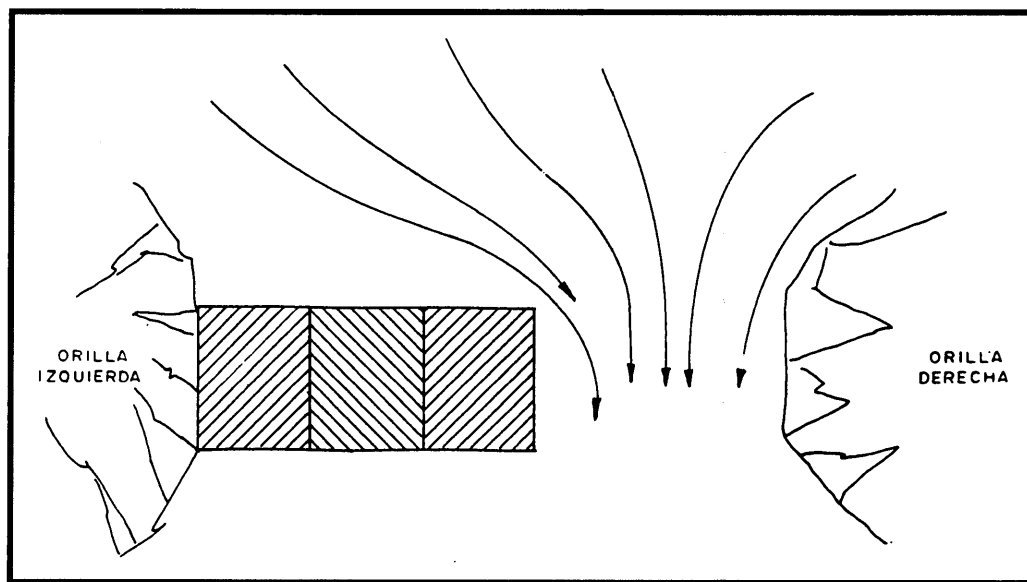


Figura 17.2. Agua encauzada a través de los cajones.

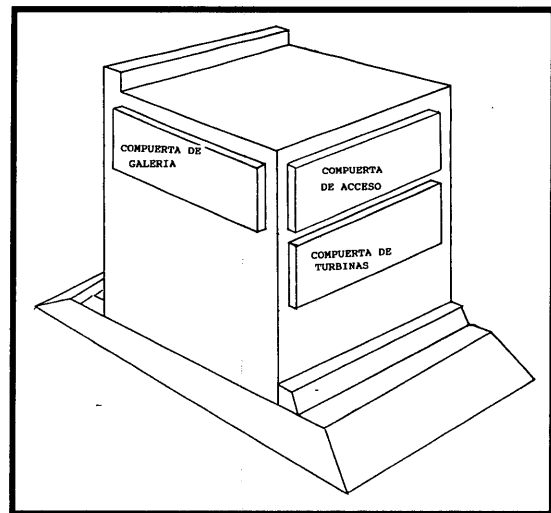


Figura 18. Perspectiva del cajón con compuertas.

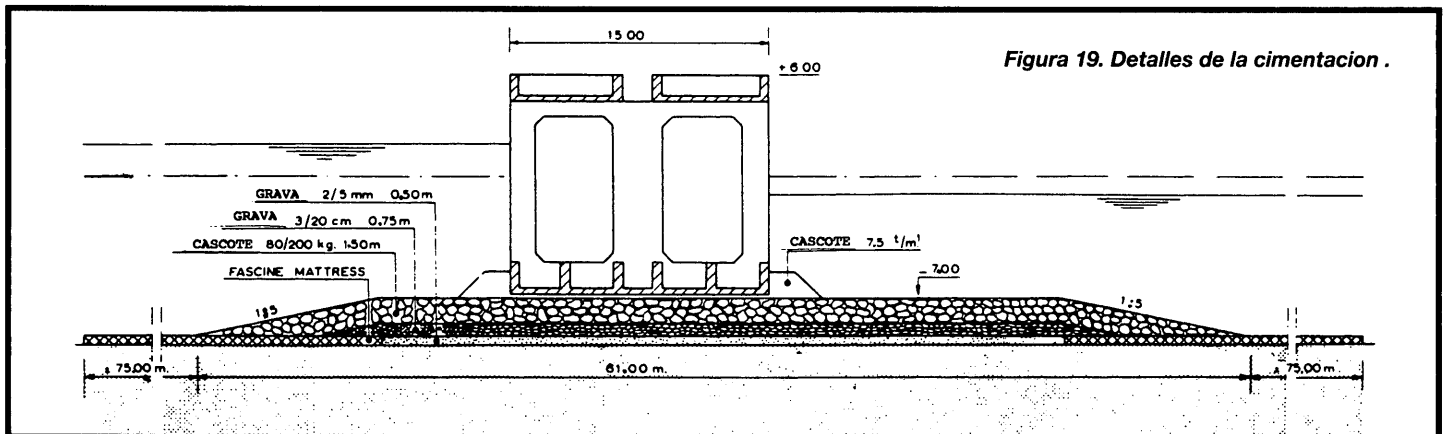


Figura 19. Detalles de la cimentación.

las compuertas para reducir la diferencia de nivel entre el mar y la ensenada. En La Rance, aunque tales compuertas permanecieron abiertas hasta que acabó la construcción, no fue suficiente para impedir una gran turbulencia que ocasionó graves deterioros en el cimientó y un importante retraso en las obras.

En Kislaya-Guba no hubo tales problemas, porque el cajón donde están alojados los grupos turbina-alternador y sus anejos ocupa la mayor parte de la embocadura y nada más colocado se ejecutaron los diques de escollera que completan el cierre.

Si en todos los cajones que forman el dique se disponen aberturas y estas tienen un ancho similar al ancho del cajón, es evidente que, estando todas abiertas, las condiciones respecto a posibles erosiones serán análogas a las que había antes de construir la central.

Además de las aberturas para mantener poca diferencia de nivel de agua entre mar y bahía los cajones donde se instalen los grupos generadores han de tener:

▼ Aberturas de explotación para permitir la entrada y salida del agua a las turbinas. Ver fig. 16.1.

Cuando hay varios cajones con grupos turbina-alternador conviene dejar comunicación entre ellos, sin necesidad de subir a la coronación del dique. Incluso sería preferible establecer acceso a las instalaciones electro-mecánicas, por lo menos desde un extremo del dique, mediante una galería cubierta situada a cota más baja que la coronación. Estas funciones pueden satisfacerse si en las paredes de cada cajón con sus adyacentes se dejan:

▼ Aberturas de acceso creando una galería a lo largo del dique.

Estas distintas aberturas pueden verse en fig. 16.1 y fig. 18. A continuación se indican condiciones relativas a sus cotas y cuándo deben estar abiertas o cerradas.

Las aberturas de comunicación entre el mar y la bahía conviene estén a cota que permita el paso del agua incluso con

marea baja. Para transportar el cajón es necesario se cierren con compuertas. Una vez colocado el cajón deben abrirse o quitarse las compuertas para dejar fluir el agua y evitar eventuales erosiones. Cuando haya terminado la construcción del dique será preferible cerrarlas de modo definitivo con hormigón para impedir que el mar pueda penetrar en compartimentos utilizables, de acceso etc. Ver fig. 17.2.

Las aberturas de explotación deben estar por debajo del mínimo nivel del mar con marea viva equinoccial, pues ha de poder pasar siempre el agua a través de las turbinas. Las compuertas que las cierran han de tener carácter definitivo y siempre poderse abrir o cerrar según lo demande la explotación de la central. Ver fig. 16.1.

Las aberturas de inter-acceso, creando una galería incluso a todo lo largo del dique, conviene estén a cota lo más alta posible. Es imprescindible cerrarlas con compuertas al trasladar el cajón por flotación pero, después que se haya ubicado en su sitio y colocado los dos cajones adjuntos, se quitarán de modo definitivo las compuertas, para conectar los compartimentos de cajones colindantes. Ver fig. 16.2.

Estas compuertas, se han dibujado –para mayor sencillez– por fuera del cajón. En realidad van por el interior del muro y se mueven por unos carriles, tal y como lo hacen las persianas paralelamente a la fachada de una casa. En la sección de la central de La Rance (ver fig. 3) se pueden ver dos líneas de abajo arriba y continuas, del lado del mar y otras dos del lado del estuario, que son los carriles por los que discurren las compuertas de turbinas. Las compuertas de acceso lo harían en un plano paralelo y separadas una cierta distancia.

3.3. CIMENTACIÓN

La central mareomotriz de La Rance se pudo ubicar en un lugar formado en casi su totalidad por terreno rocoso.

Indiscutiblemente para apoyar determinada estructura, un terreno rocoso resulta más idóneo que otro de materiales sueltos. Con un fondo rocoso bastará que la superficie correspondiente a cada cajón quede lo más plana y horizontal posible. La técnica actual permite conseguir esto, incluso con profundi-

Figura 20.1. Colocando el FASCINE-MATTRESS sobre arena cubierta de escollera.

dad de agua hasta de 30 m. Mediante perforadoras y máquinas recogedoras de detritus se recortan las protuberancias existentes.

Más tarde, una vez asentado el cajón, se puede inyectar lechada de cemento entre el hormigón y la roca para impedir una posible percolación de aguas.

Siendo el fondo arenoso, es lo más común, se puede aplicar el procedimiento aplicado en Kislaya-Guba, similar al del Plan Delta Holandés. Es fundamental garantizar que:

- a) los esfuerzos transmitidos por la estructura al cimiento sean suficientemente moderados, para que los asentos no excedan de valores tolerables.
- b) el cimiento tenga condiciones estables y no se degenera paulatinamente por arrastre de sus partículas, ya sea como consecuencia de corrientes superficiales, o percolación de agua a través de su masa.

Para que se cumpla la condición a) podría pensarse en tratar el fondo mediante inyecciones o micropilotes, e incluso extendiendo una losa de hormigón de suficiente espesor lo cual, aunque con cierta dificultad, puede realizarse bajo el agua.

Naturalmente en ello influye la dimensión del cajón y las cargas que transmite al cimiento, pero cabe recordar como en la central de Kislaya-Guba tuvo completo éxito excavar primeramente todo el cimiento hasta una profundidad idónea y después extender capas de material que se compactaba debidamente. (Ver fig.19).

Para satisfacer la condición b) una posible solución es proteger la superficie del lecho arenoso junto a ambos paramentos del cajón, (el de mar abierto y el de la bahía o estuario), y para ello colocar una cobertura con espesor y ancho idóneos.

Previamente conviene allanar el fondo, dragando montículos y rellenando depresiones con arena tomada de las proximidades. La arena deberá compactarse después de extendida.

La cobertura protectora puede ser una capa de escollera gruesa, bajo ella otra capa de escollera fina o detritus de piedra y debajo de ambas arena y grava cubriendo el lecho arenoso. Es decir, escollera en la capa externa (la superior) y granulometría cada vez más fina a medida que se desciende de nivel.

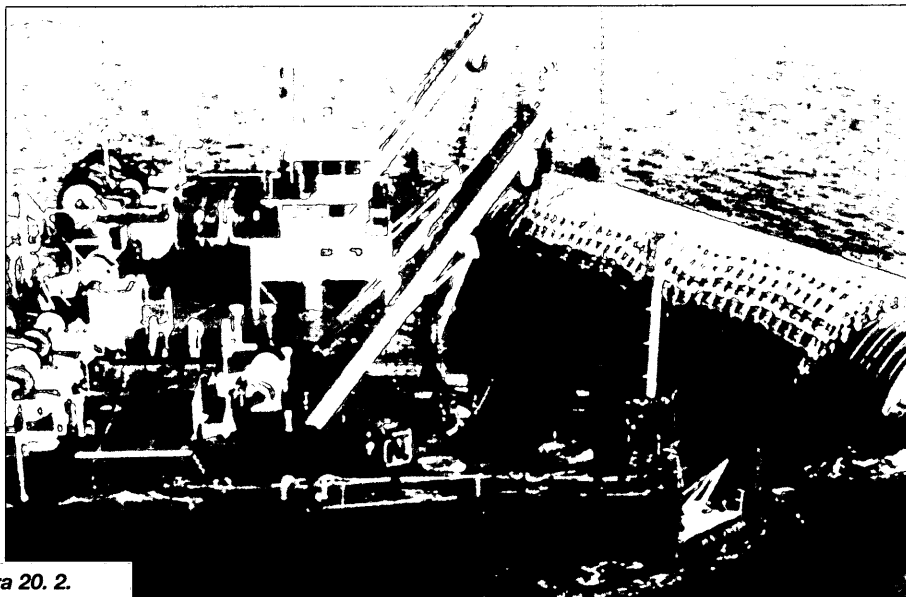
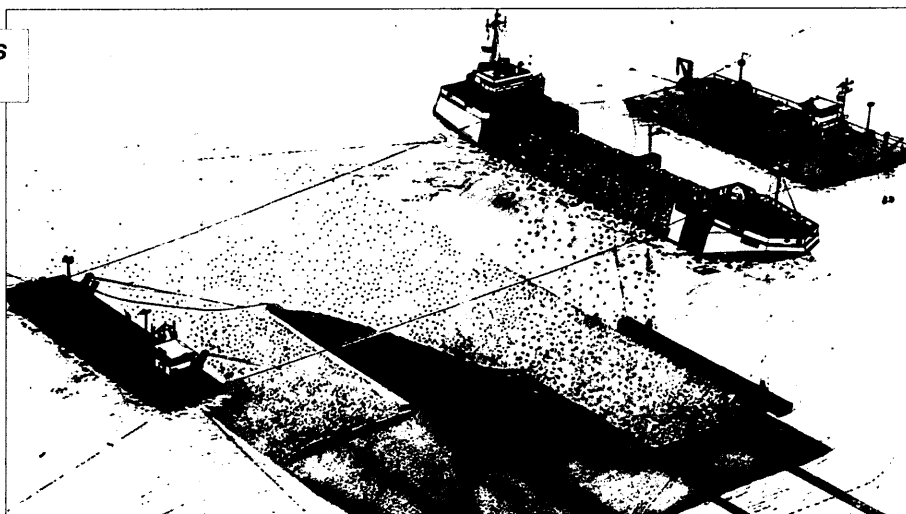


Figura 20.2. Tambor con malla enrollada.

Los espesores y tamaño de grano de cada material dependen de las condiciones del caso de que se trate, pero como ejemplo puede citarse (Ver fig 19) la secuencia siguiente :

- a) Capa de escollera con espesor $e=1,50$ m, y bloques de peso entre 80 y 200 kg.
- b) Capa de grava o residuos pétreos de tamaño entre 3 y 20 cm y espesor $e=0,75$ m.
- c) Capa de arena mezclada con grava, con espesor $e=0,50$ m.

Para aumentar la seguridad se ha procedido, en algunos casos y en particular en Kislaya-Guba, a colocar como protección una malla metálica que se extiende sobre el fondo suficientemente allanado. Encima de la malla se echa piedra machacada y se vierte mezcla asfáltica. (Ver fig. 20.1). La mezcla de asfalto y grava, con espesor idóneo, garantiza que no pue-

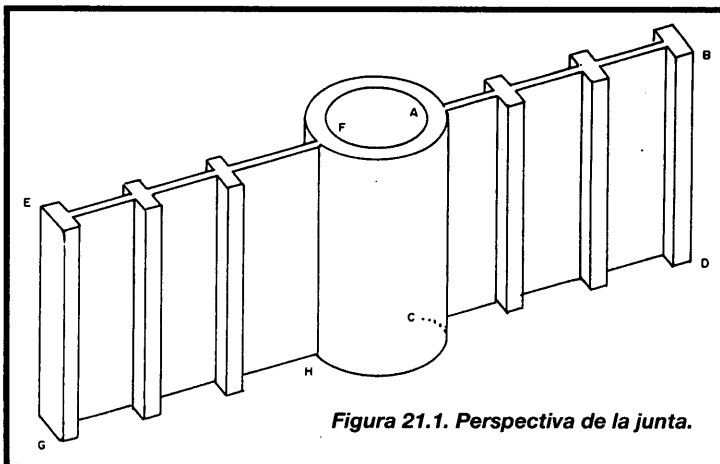


Figura 21.1. Perspectiva de la junta.

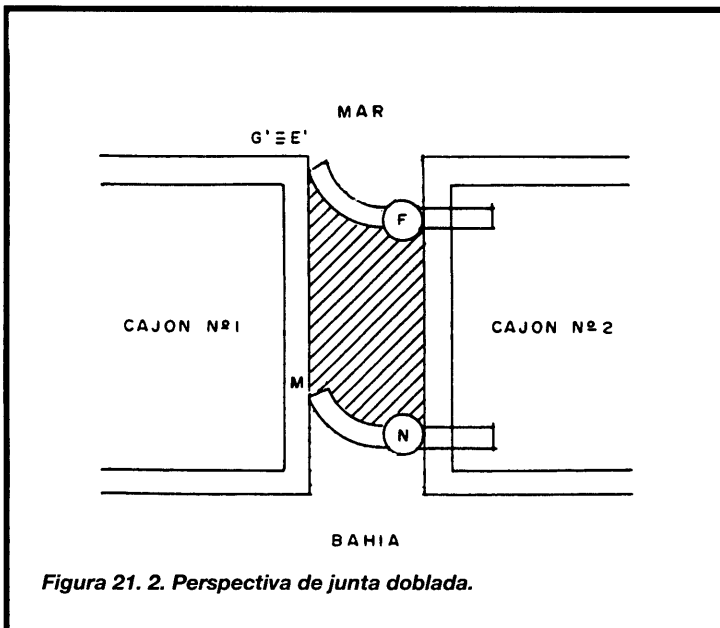


Figura 21.2. Perspectiva de junta doblada.

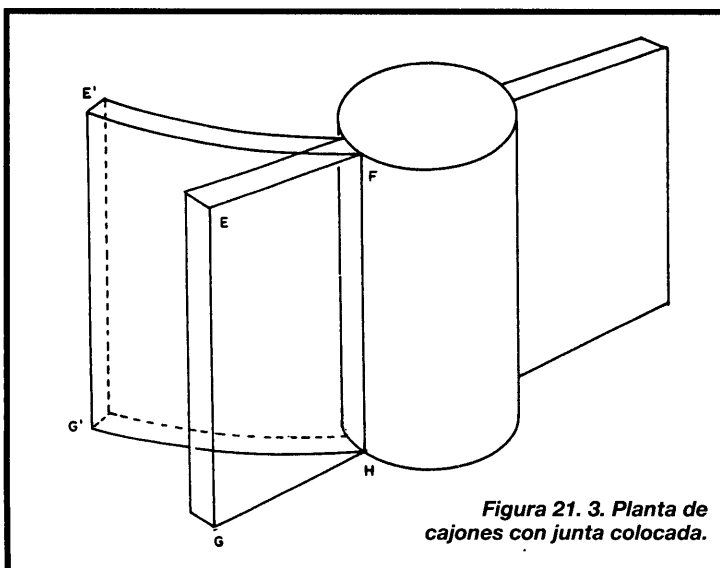


Figura 21.3. Planta de cajones con junta colocada.

den emigrar granos de arena porque precisarían pasar a través de ella.

La malla es un fajo de barras metálicas, atadas entre sí mediante cables, con lo cual forman una red que puede enrollarse en un tambor cilíndrico. (Ver fig 20.2). Se designa habitualmente con el nombre inglés FASCINE-MATTRESS por ser como un colchón-fajo.

Además de los tratamientos indicados, para garantizar que el cajón no sufrirá ningún corrimiento horizontal, aún siendo el nivel de agua y por tanto el empuje de mar abierto diferente al de la bahía, conviene añadir un refuerzo de piedra machacada en uno y otro lado del cajón. (Ver fig 19). El peso unitario del refuerzo dependerá de la altura del cajón, pero como mínimo será de 10 Tm/m.

3.4. TRANSPORTE Y COLOCACIÓN

El transporte de los cajones se realizará, como en Kislaya-Guba, mediante remolcadores a los cuales se amarrará el cajón con cables. Ubicado el cajón en el lugar fijado, se llenará de agua su compartimento base. (Ver fig 16.1). Si después se vieran errores de colocación, se podría sacar el agua para que vuelva a flotar y repetir la operación. Solo cuando esté correctamente colocado podrá llenarse el compartimento de arena o de hormigón, quedando así definitivamente.

Conviene ejecutar primero las obras correspondientes a ambas orillas porque podrán ser aprovechadas como acceso al resto del dique. También, en caso de que formen parte de la obra, la zona con compuertas que permitan el paso del agua con independencia de las turbinas y la esclusa para barcos.

3.5. JUNTAS ENTRE CAJONES

Las juntas entre cajones contiguos han de ser estancas. Si el flujo de agua alcanzase caudal grande podría incluso aminorar el aprovechamiento energético de la marea pero, incluso siendo el caudal pequeño puede generar erosiones en el lecho del cimiento. Por tanto es aconsejable realizar, entre cada dos cajones y hasta el lecho sobre el cual se apoyan, inyecciones con lechada de cemento u otro producto que fragüe bajo el agua, para conseguir la debida estanqueidad.

Para facilitar la inyección conviene emplear, como en las juntas funcionales de las presas fluviales, cubrejuntas con bandas de polivinilo. Se logra con ellas una reducción provisional del eventual flujo de agua.

Una mitad de la banda cubrejunta se empotrará en un cajón y su otra mitad quedará exenta. El cajón contiguo llevará otra banda o lámina en análogas condiciones, pero ubicada de tal modo que las láminas queden desplazadas cierta distancia, dentro del plano de contacto de los cajones. Como se indica en la fig. 21.1, la banda de polivinilo tiene embebida en el cajón su parte derecha ABCD. Su parte izquierda EFGH tropezará con el cajón contiguo y se doblará como indica la fig. 21.2.

Todas las bandas de polivinilo deben seguir un desarrollo vertical.

Tanto del lado del mar, como del lado de la bahía, quedarán entre los velos espacios (zona rayada de la fig 21.3) que deben ser inyectados con lechada de cemento. Quedará así estanca la junta entre cajones.

3.6. APLICACIÓN A PRESAS EN RÍOS CAUDALOSOS

Para construir una presa en un río, lo normal es cortar el río con una atagüa y establecer una conducción (en lámina libre o en presión), por donde circule el agua hasta después de pasada la contra-atagüa. De este modo quedará en seco el área sobre la cual apoyará la presa y se podrán realizar con facilidad las excavaciones necesarias.

Siendo el río caudaloso resulta difícil el desvío total del agua y con frecuencia se recurre a un desvío parcial de tal forma que el agua pase por una parte del cauce con el consiguiente aumento de velocidad y los eventuales problemas que se han descrito al hablar de las centrales mareomotrices.

Cuando el río tenga poca pendiente y en consecuencia el agua circule con velocidad reducida y calado cuantioso, puede resultar ventajoso utilizar cajones prefabricados, tal como se hace para los diques marinos. Esto si hay un lugar idóneo para realizar en él una excavación y llenarla de agua después de construídos los cajones, que luego se llevarán flotando hasta el lugar donde han de ser colocados.

Con cajones es factible realizar recintos de ataguado (conjuntos de atagüa y contratagüa) que, después de estabilizados los cajones, se vacían de agua para proceder a la cons-

trucción de la correspondiente parte de presa. Incluso cabe pensar en utilizar más de una vez un mismo cajón sacando de él la arena que se haya puesto para estabilizarlo, con lo cual volverá a flotar.

También puede resultar ventajoso diseñar la presa de modo que los cajones puestos tanto de suso como ayuso entren a formar parte de la estructura definitiva de la presa.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) **A. Álvarez.** *Proyecto y Construcción de Presas.* (Tomo IV/Cap.1.)
- 2) **L. B. Bernshtein.** *Kislaya-Guba Experimental Tidal Power Plant and Problem of the use of Tidal Energy.* (Gray-Gashus p.p. 215-238).
- 3) **Considine.** *Energía de las mareas.* (Enciclopedia de Energía Hidráulica. Tomo 5/p.p. 241-264).
- 4) **J. D. Gwinn, F. Spargaren, A.J. Waestnen.** *Modern Techniques for Barrage Construction.* (Gray-Gashus p.p. 337-364).
- 5) **Harnessing.** *The Energies of the Ocean.* (Marine Technology Society Journal Vol 3/ N° 3 y 4, Vol 4/ N° 2).
- 6) **R. Kirby, Th. Telford.** *Changes to the fine Sediment Regime in the Severn Estuary.* (Tidal Power p.p. 221-235).
- 7) **C. H. Lebarbier.** *The Rance Tidal Power Station.* (Naval Engineers Journal, April 1975).
- 8) **G. Mauboussin.** *L'usine Maremotriz de la Rance.* (Gray-Gashus p.p.189- 214).
- 9) **P. R. Tozer, T. J. Sluysmer.** *Precast Floated in Construction as Applied to Tidal Power Development.* (Gray-Gashus p.p. 365-378). ●