

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1977

00.77.13

CNEA-NT 12/77

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"ENERGIA MAREOMOTRIZ"

Recopilación realizada por Sara Volman de Tanis

Gerencia de Desarrollo
Buenos Aires - Argentina
1977

**COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION**

"ENERGIA MAREOMOTRIZ"

Recopilación realizada por Sara Volman de Tanis

**Gerencia de Desarrollo
Buenos Aires - Argentina
1977**

COMITE COORDINADOR DEL ESTUDIO

SARA VOLMAN DE TANIS: Coordinadora General

ALFREDO H. HEY y CARLOS J. LERCH: Coordinadores adjuntos

Recopilación realizada por Sara Volman de Tanis

PROLOGO

El presente estudio integra el Análisis de la Oferta Potencial Nacional de Tecnología en Métodos de Aprovechamiento de la Energía Generada por Métodos no Convencionales.

Se ha realizado en el marco del Programa de Transferencia de Tecnología de la O.E.A.

El objetivo general del trabajo consistió en analizar la participación de la industria local ya sea la privada como la es tatal, en el aprovechamiento de la energía obtenida por métodos no convencionales. Los sistemas de generación se desagregan con el mayor detalle posible, determinando que sectores tienen desarrollos propios y no divulgados que sean transferibles a otros sectores de actividades similares o sean aplicables a ellos.

Dicho análisis ha sido efectuado en base a los siguientes capítulos.

1. INTRODUCCION
2. ENERGIA EOLICA
3. ENERGIA POR FUSION
4. ENERGIA GEOTERMICA
5. ENERGIA POR HIDROGENO
6. ENERGIA MAREOMOTRIZ
7. ENERGIA NUCLEAR
8. ENERGIA SOLAR

Sara Volman de Tanis
Responsable del Programa
Transferencia de Tecnología

6. ENERGIA MAREOMOTRIZ

6.1. Naturaleza del recurso

La energía que el mar pone en juego ante nuestros ojos es prácticamente infinita e inagotable; es gratuita y no produce contaminación.

Hasta la fecha existen 2 usinas mareomotrices en funcionamiento en el mundo y ningún proyecto aprobado para construir una tercera. La razón principal de que así sea la pone el mar en evidencia con solo observarlo: su energía fluctúa, anulándose 2 veces por día, siguiendo el ritmo lunar y no solar.-

Este ritmo perjudica el mejor aprovechamiento para la actividad humana, ya que está regido por el sol y no por la luna.

Quienquiera que haya pasado unos días en una costa marina y se haya fijado de tanto en tanto en el mar habrá notado que en pocas horas su borde avanza o retrocede. La hora pleamar está dada por la posición de la luna en el cielo, y la amplitud de la marea depende de la fase de la luna, es decir, la situación en que se encuentra la luna respecto al sol.

Aún siendo la luna y el sol los determinantes de la existencia misma de las mareas, efectos locales producen las enormes diferencias que se observan en la altura de marea: 6 a 8 mts. en Golfo San José (Chubut), 13 mts. en Puerto Gallegos (Santa Cruz), 12 mts. en Monte Saint Michel (Francia), 20 mts. Bahía Fundy (Canadá) 2 mts. en Golfo Tonkin (China).

Las causas de estos movimientos se deben a:

1) La luna y el sol, cambiando continuamente de posición respecto

a la tierra, provocan movimiento en los mares, la rotación de la tierra sobre su eje y las variaciones de profundidad del fondo marino alteran dirección e intensidad de esos movimientos. En las costas aparecen desniveles variados, que dependen de las condiciones geográficas locales.

2) El efecto de la luna: en el centro de la tierra la atracción de la luna iguala a la fuerza centrípeta. En la superficie de la tierra las cosas son muy distintas: el punto que está frente a la luna, la atracción lunar allí es mayor que la fuerza centrípeta, de manera que la parte móvil de la tierra atmósfera, mar, la corteza terrestre tiende a levantarse.

En el punto de la superficie directamente opuesto a la luna la fuerza centrífuga es mayor que la atracción, de manera que las partes fluidas tienden a alejarse de la luna, levantándose también.

De éste modo, la luna provoca 2 levantamientos, prácticamente iguales, en los puntos de la superficie terrestre que la tienen en su cenit o en su nadir. La "marea" consiste precisamente en un subir y bajar, a ritmo lunar con un efecto similar a una variación de 10^{-7} de la densidad, lo que daría elevaciones del orden de milímetros.

El efecto más importante aparece en las zonas en que la luna está cerca del horizonte, porque el desequilibrio entre atracción y fuerza centrípeta actúa allí poniendo en marcha el agua de los mares en forma horizontal, o sea generando corrientes. Estas corrientes afectan a toda la masa en profundidad, y aunque sus velocidades sólo lleguen a algunos centímetros por segundo, la masa de agua puesta en movimiento es enorme.

Hay que tomar en cuenta que la tierra no está quieta sino gi-

rando sobre sí misma cada 24 hs. Como la luna está muy apartada del Ecuador, las zonas terrestres en las que el agua se pone en movimiento corresponden a latitudes más bien elevadas y el movimiento consiste en corrientes de toda la masa a lo largo de meridianos dirigiéndose hacia latitudes bajas.

- 3) Los efectos del sol: La atracción del sol sobre la tierra produce la fuerza centrípeta que mantiene la tierra en su órbita anual.

Como el centro de gravedad del sistema sol-tierra-luna está prácticamente en el sol y como la inclinación de la tierra sobre la eclíptica es casi absolutamente constante se originan ondas en el mar que ponen en movimiento el agua en toda su profundidad y tienen velocidad y amplitud menores que las producidas por la luna.

Los efectos del sol y de la luna se superponen y cambian la posición relativa de ambos cada 29 días.

Cuando sol, tierra y luna están alineados (Luna nueva y luna llena), las fuerzas se suman y se tienen mareas altas, de "aguas vivas", y cuando están a 90° hay mareas mínimas, de "aguas muertas".

A los efectos astronómicos y geográficos deben añadirse los efectos locales debidos a acciones superficiales de vientos y corrientes marinas.

Aunque la luna y el sol - en ese orden - son responsables únicos de la existencia de corrientes en el mar que mueven toda la masa de agua de la zona, la altura de marea en una determinada costa depende de las desviaciones y reflexiones -- que esas corrientes hayan sufrido. Además la marea es muy -- sensible a las variaciones de profundidad en las inmediacio-

nes y se hace mayor o menor según la forma de la costa.

Además debido a la "aceleración de Coriolis", este hecho se debe que la superficie de la tierra tiene mayor velocidad tangencial a latitudes bajas que a altas, desvía esas corrientes continuamente hacia el oeste.

Si suponemos que el fondo del mar se eleva por la proximidad de un continente, la altura de la onda aumentará (con el cuadrado de la relación de profundidades si no hubiera pérdida de energía por roce contra el fondo) en las costas. Este caso se dá notoriamente en las costas este a latitudes intermedias, como en la costa patagónica.

La velocidad del agua que en alta mar no pasa de 30, a 60 cm/-seg. en costas puede llegar a 2 o 3 mts/seg. y a la entrada de estuarios superar los 5 mt/seg. Puede también ocurrir que a un mismo punto de la costa concurren dos corrientes que afluyen en sentidos contrarios, de manera que se producen mareas elevadas pero que no se percibe velocidad apreciable en el agua.

Como se ve aunque los principios generales de la marea son sencillos, es imposible elaborar una teoría global pues en cada caso es necesario tomar en cuenta detalles individuales. Al mismo tiempo, es muy importante el trabajo teórico para la comprensión de la marea, porque su nivel está dado, en definitiva, por lo que ocurre a gran distancia, en alta mar, y allí no es posible hacer mediciones de nivel, de modo que todo el esquema debe deducirse de mediciones de velocidad.

Estado actual del conocimiento

Panorama General.

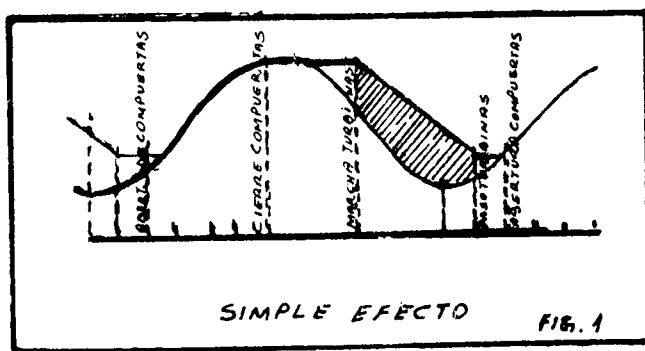
Cuando se piensa en la energía mecánica puesta en juego por las

por las mareas no se sabe que admirar más: si los 6 millones de MW que van y vienen aparentemente al alcance de la mano, o si el hecho histórico de que el hombre solo haya construido unos pequeños molinos (desde el siglo XI o XII) con potencias que llegan a 20 KW y una modesta planta mareomotriz de 240 MW. Los holandeses construyeron molinos en el actual Brooklyn en 1636 y los colonos ingleses de la costa de Nueva Inglaterra los hicieron en el siglo siguiente, los franceses tenían molinos similares hasta hace 20 años, la URSS inauguró en 1969 una planta en el mar Blanco de 0,40 MW de potencia.

La idea de utilizar la energía de las mareas como se vé, no es reciente, durante todo este tiempo ha sido considerada como anti económica, dándose - por diversos motivos - prioridad a los aprovechamientos fluviales.

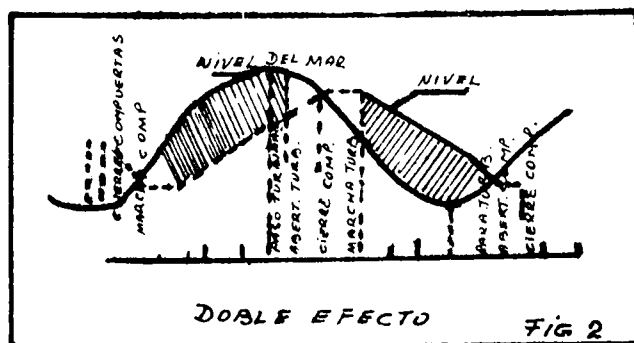
Pero en 1943 fué creada en Francia una Sociedad de Estudios con el objeto de encontrar las condiciones de adaptación industrial de la energía mareomotriz. La planta se construyó en La Rance bajo la responsabilidad de Electricité de France.

En La Rance se ha partido del problema más simple: el de la captación - por aislación en un vaso de las mareas crecientes. Se crea una reserva mediante un dique provisto de compuertas y turbinas que cierran y controlan el llenado y vaciado del mismo. Es lo que se llama un ciclo a simple efecto, que comprende 3 fases sucesivas



- 1) FASE DE LLENADO, con la marea creciente (Turbinas detenidas, compuertas abiertas)
- 2) FASE DE ESPERA (Turbinas detenidas, compuertas cerradas)
- 3) FASE DE VACIADO (Turbinas en marcha, compuertas cerradas). Esta es la única fase de producción

Con un ciclo de doble efecto, es decir produciendo energía durante el llenado el ciclo sería como se ve en la fig.2



La combinación de los 2 ciclos es posible, pero la experiencia indica - como en el caso de La Rance - que la energía producida no es el 175% del ciclo de simple efecto, sino que solamente alcanza al 118%.

Se ha logrado la invención de grupos tipo bulbo que pueden funcionar como turbinas, bomba y compuerta en los 2 sentidos del flujo, y ellos han permitido aprovechar las mareas en condiciones económicamente más interesantes.

El Ing. Gibrat ha estudiado para este tipo de grupos, los numerosos ciclos posibles, que surgen de la combinación de 6 fases de funcionamiento.

Turbinado directo: con el nivel del mar más bajo que el nivel de del dique.

Turbinado invertido: con el nivel del mar más alto que el nivel de retención

Bombeo directo: la turbina bombea agua a través de la retención acelerando el llenado.

Bombeo invertido: el agua es bombeada hacia el mar acelerando el vaciado.

Vaciado directo: nivel del mar superior al del dique (circulación libre con turbinas detenidas.)

Vaciado invertido: nivel del mar inferior al del dique (circulación libre con las turbinas detenidas)

La combinación de éstas 6 fases en ciclos permite jugar sobre todos los parámetros que definen la explotación y la marea.

Gracias a la posibilidad de adoptar numerosos ciclos de funcionamiento, las centrales mareomotrices presentan un grado de adaptación netamente superior de las centrales hidráulicas a "pelo de agua" sometidas a imprevisibles condiciones hidráulicas.

Para la explotación de plantas mareomotrices se debe además considerar la capacidad de la red, la curva de demanda del consumo, la producción durante las horas de pico, reducción de horas de marcha de centrales térmicas hidráulicas con reserva, bombeo con consumo

de energía barata durante las horas de baja demanda.

En el aprovechamiento de una marea se deben distinguir algunos aspectos como:

- las turbinas mareomovidas deben ser capaces de funcionar con desniveles lo más pequeños posibles (en la planta de La Rance las turbinas pueden funcionar con 1 metro de desnivel).
- La energía de mareas es fluctuante entre 0 y el máximo en el término de horas.
- los equipos mecánicos están expuestos a la corrosión de agua salada, y las obras expuestas a temporales.
- el cierre del embalse plantea problemas mucho más difíciles en el caso de un estuario marino que en el caso de un río.
- la construcción de la misma puede requerir desecar mediante diques provisionales todo el espacio de la obra en proporción mucho mayor que en caso de los ríos.

Podemos descubrir varias alternativas de solución para el aprovechamiento de las mareas según:

- 1) Disponer de un recipiente ubicado a nivel mayor que el de las mareas más altas mantenido con una cantidad de agua tal que permita, en forma constante, la producción de energía que necesitamos.

Se deberá contar con una planta de turbinas y bombas operando con la marea fluctuante, de manera que la energía que puedan producir las turbinas cuando hay desnivel apropiado actúen como bombas para llenar al recipiente elevado.

La dificultad proviene de razones técnicas: el "recipiente" solo podrá construirse aprovechando una hondonada natural situada en lugar adecuado, o de disponer de dos recipientes, de los cuales uno es mantenido siempre a nivel alto y el otro a nivel bajo.

Hasta el presente esta solución es difícil de realizar y resulta además antieconómica.

- 2) La otra solución es la de instalar un dique que cierre un golfo o estuario. Este dique debe soportar entre sus caras una diferencia de nivel variable y debe estar perforado por conductos en los que se instalen turbinas adecuadas. Por turbinas adecuadas se entiende disponer de máquinas reversibles, capaces de generar potencia cuando el agua pasa del mar al embalse o del embalse al mar.
- 3) Explotación de mareas con un embalse y un dique: se supone disponer de un dique que separa el mar del embalse con los niveles de ambos subiendo y bajando.

La idea básica consiste en turbinar en un sentido y en otro cuando el desnivel es grande y bombear cuando el desnivel es pequeño. Esto requiere disponer dos grupos generadores que puedan actuar como turbinas, bombas u orificios.

Para aumentar la potencia instalable se deberá bombear en pleamar para que el nivel del embalse aumente por encima de la altura de marea; bombear en baja mar hacia afuera del embalse para disminuir su nivel por debajo del cero de marea.

Otra opción será la de aprovechar la energía cinética horizontal del agua dejando que la marea entre libremente hasta que la corriente se refleje en el extremo opuesto del embalse y forme una ola a mayor altura.

Sobre el papel se puede especular con estas tres ideas para imaginar un aprovechamiento de mareas de altura efectiva mucho mayor que la altura real. Pero para concretarlas deben considerarse las posibilidades físicas del lugar elegido, las dificultades de realización, los costos, la regularidad del aprovechamiento, etc.

Durante la operación de una planta deben considerarse las maniobras de bombeo para cada marea, ya con dos mareas diarias aún con la utilización de un computador la tarea es de una complejidad increíble. Los efectos meteorológicos y los equipos, sumando los períodos de generación de energía previstos por el mar y los de consumo impuestos por los usuarios, hacen que el diseño de un proyecto tenga un grado de complejidad tal que llevó al hombre hasta el presente a no aprovechar el recurso energético ofrecido por la marea.

3. Posibilidades regionales

Las mareas a lo largo de la costa sur de la Argentina se clasifican entre las más grandes del mundo, después de las de la bahía Fundy en Canadá, del río Severn en Inglaterra y del Mont Saint Michel en Francia.

Las amplitudes observadas alcanzan hasta 12 mts. en aguas vivas medianas, en la Bahía Grande (ver fig 3 mapa República Argentina). Hacia el norte las amplitudes disminuyen paulatinamente, salvo en los Golfos San Matías, San José y Nuevo, en las cuales las mareas son netamente más altas que en las zonas vecinas.

La importancia excepcional de las mareas en la zona de la Península Valdez, se deduce claramente de las líneas cotidales a lo largo de las costas argentinas, las cuales presentan 2 puntos singulares: uno a la altura del Golfo San Jorge y otro a la altura de El Rincón. Ellos se deben a la interferencia de 2 ondas de marea que se propagan, una de sur a norte siguiendo la costa, y la otra perpendicularmente a la primera. Estas 2 ondas tienen el mismo origen, la onda de marea formada más al sur, en el océano Antártico, la cual, al encontrar los bajos fondos de las islas Malvinas se desvía girando alrededor del obstáculo. Se crea entonces una segunda onda, que girando al este de las Malvinas se dirige hacia

el oeste, mientras la primera continúa propagándose hacia el norte. Debido a la influencia de la profundidad, la onda que bordea la costa se propaga más lentamente, y la interferencia de las dos ondas crea los nodos de oscilación con amplitud de marea nula.

En consecuencia, existe entre estos 2 puntos una zona de oscilación alta que coincide precisamente con la zona de la Península Valdés.

A éste fenómeno puramente hidrográfico, se le une otro de orden topográfico - que favorece la reflexión y perturba la propagación de las ondas de marea produciendo un defasaje horario constante - de la misma, entre los golfos San José y Nuevo, del orden de 6 hs.

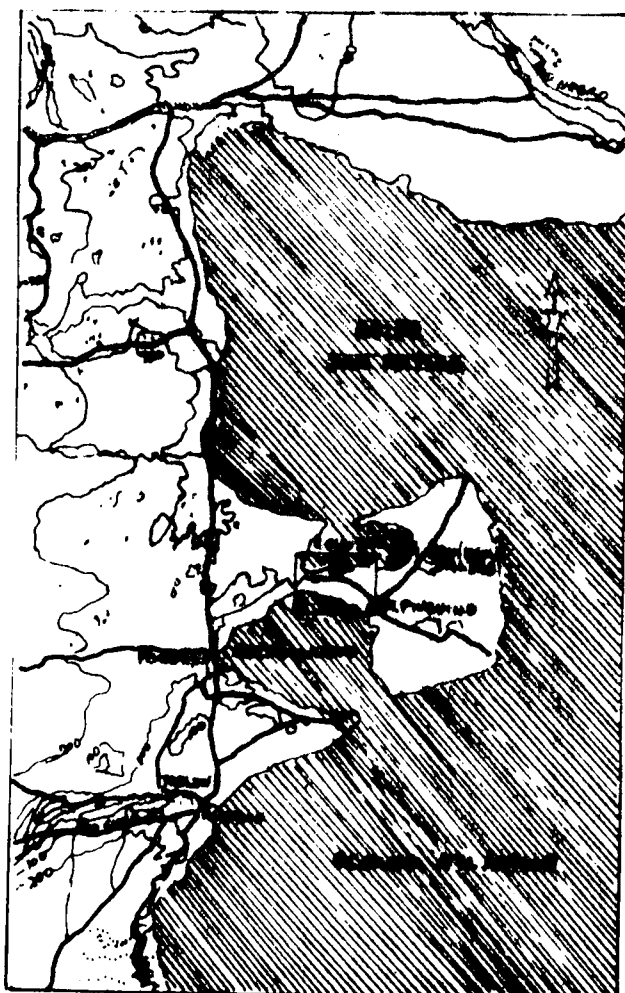


FIG.3

Nos encontramos, entonces, frente a una configuración de marea poco común, extremadamente favorable para su utilización energética. No es reciente la idea de la utilización de la energía mareomotriz en esa zona.

Ya en 1919 se hizo alusión a captar dicha energía y poco después, en 1922, la Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales presentó un trabajo del Dr. Horacio Damianovich y el Ing N.B. Moreno, proponiendo usar 400 turbinas y una potencia de 240000 KW aproximadamente.

En 1924 se nombró una Comisión Nacional Honoraria para el Estudio y Captación de las Mareas Patagónicas la que menciona las posibilidades de aprovechamiento del istmo.

El jalón siguiente lo puso el Ing J.C. Erramuspe en 1949. En el estudio se habla de aprovechar el defasaje entre las mareas de los Golfos San José y Nuevo al norte y sur del istmo Carlos Ameghino de unos 6 km. de ancho en su zona más angosta.

En el año 1950, Agua y Energía Eléctrica realizó algunas medidas de las amplitudes de mareas en los 2 golfos, en 2 puntos opuestos de uno y otro lado del istmo, y en 1956 la Dirección Nacional de Energía encargó a la Sociedad SOGREAH de Grenoble el estudio de una central de 600000 KW.

La decisión de elegir dicha potencia preferentemente a otra mucho mayor o menor procede de la naturaleza misma del problema y es resultado de un examen preliminar. En 1957 se conoció un proyecto elaborado por el Ing. Loschakoff que consistió en el cierre mediante diques a compuertas de la entrada de los golfos y la abertura de un canal que una ambos golfos. El aprovechamiento se haría de la manera siguiente: Con la marea de flujo en el lado del golfo que se elija como embalse elevado se abren las compuertas de los diques de cierre de ambos golfos. El embalse elegido como elevado

se llenará con el agua de la marea ascendente mientras que al mismo tiempo otro será vaciado por la marea descendente de su lado. Cuando los niveles externos y los internos correspondientes coincidan se clausuran las compuertas.

Se dispone ahora de un embalse elevado y de uno bajo. El primero puede ser vaciado gradualmente en el segundo a través del canal. Las compuertas de los diques permanecen cerradas hasta que nuevamente los niveles de la marea externa coincidan con los de los depósitos de su mismo lado. Este ciclo se repite sucesivamente.

Un aprovechamiento como el descrito tiene, como se ve, sobre los otros posibles las ventajas siguientes:

- a) Régimen de producción de energía casi constante.
- b) Turbinas del tipo común en aprovechamientos hidroeléctricos y con salto y caudal mucho menos variable que en los otros casos.
- c) Dentro de ciertos límites, no puede almacenar energía. En efecto, si se disminuye la producción de fuerza motriz, menor cantidad de energía pasa del estado potencial (embalse elevado) al cinético y queda disponible para un aprovechamiento posterior.
- d) Los caudales en el canal no afectan en nada la amplitud de la marea.
- e) Detrás de los diques de cierre quedarán formados dos lagos de aguas relativamente tranquilas a los que la navegación tendrá acceso por intermedio de esclusas o a través de las compuertas de los diques de cierre en los periodos (cuatro en el día) en que las diferencias de los niveles de agua de los lagos con los del océano sean pequeñas.

6.3.1 Cierre de golfos

El cierre podrá hacerse en la forma realizada o proyectada para obras de ésta naturaleza en el extranjero (por ejemplo cierre del delta del Rin, del Mosa y del Escalada en Holanda, La Rance y -

Saint Michel en Francia).

Hasta tanto la corriente lo permita se eleva un dique de escollera en la línea de cierre. Cuando las velocidades máximas de la corriente sobrepasan un cierto límite, la elevación del dique se hace difícil. En efecto, el peso de los materiales a emplear (piedras o elementos de hormigón) tendría que aumentar aproximadamente con el cubo del aumento de la velocidad de la corriente. Los inconvenientes de tener que emplear elementos extremadamente pesados son evitados con el empleo de cajones flotantes a compuertas del tipo proyectado para el cierre del delta del Rin, del Mosa y del Escalada en Holanda (1) y (2).

Con el empleo de cajones flotantes se evitan las altas velocidades que ocasionaría un cierre gradual con dique de escollera.

Una parte del cierre sobre la escollera podrá hacerse, por razones de economía y hasta tanto las circunstancias lo permitan, con cajones comunes de hormigón y no del tipo "a compuertas".

Los efectos de la velocidad aumentada en la zona del cierre, sobre el fondo y dada la naturaleza del mismo, no han de constituir seguramente un problema.

Alrededor del cierre de escollera y cajones teniendo a éste como núcleo, se construye el dique propiamente dicho de arena con una cubierta de hormigón o piedra.

Los vertederos deberán ser de aberturas tales que permitan el fácil acceso o evacuación del agua a los embalses a fin de aprovechar al máximo los períodos más favorables de las mareas.

Desde que el cierre de las compuertas se hace con niveles externos o internos iguales, su construcción será de características relativamente sencillas.

Las esclusas de navegación, en caso de considerarse necesarias, podrían construirse a la par de los vertederos.

Algunas de las características de los cierres calculados en forma aproximada, son las siguientes:

	<u>Golfo Nuevo</u>	<u>Golfo San José</u>
Superficie del golfo.....	2.130 Km ²	830 Km ²
Superficie de la Secc.de cierre...	737.000 m ²	110.000 m ²
Capacidad de la secc.de cierre....	8x10 ⁹ m ³	5x10 ⁹ m ³

Canal:

Longitud: 7.300 m.

Sección mojada: 43.000 m².

6.3.2 Usina Mareomotriz

Potencia instalada estimada: 1.200.000 KW.

Producción anual estimada: 8 x 10⁹ a 10 x 10⁹ Kwh/año.

El régimen de producción de energía será bastante constante y podrá compensarse con una usina térmica de una potencia relativamente no muy grande o quizás mediante una interconexión con los aprovechamientos de Florentino Ameghino y El Chocón.

El estudio realizado por SOGREAH en colaboración con la Dirección Nacional de Energía, el Servicio de Hidrografía Naval de la Secretaría de Marina y la Dirección de Minería de la Secretaría de Industria, comprendió dos capítulos principales:

El primero, preparatorio, incluyó las campañas hidrográficas, geológicas y topográficas.

El segundo, definitivo del funcionamiento óptimo de la instalación y de su anteproyecto.

Resumimos primeramente los trabajos de reconocimiento "in situ" que comprenden:

La nivelación y triangulación de precisión de la zona del istmo,

destinadas a la confección de un mapa al 1/5000 con curvas de nivel equidistantes a 5 m. y levantamientos de detalle al 1/1000 con curvas de nivel equidistantes 1m de las posibles zonas de implantación de la central.

Levantamientos topográficos de los fondos en la zona del canal en los golfos San José y Nuevo, a cada lado del istmo. Estos trabajos fueron realizados por el Servicio de Hidrografía Naval. Sondeos geotécnicos de reconocimiento en los ejes de los canales previstos en el istmo, realizados por el personal de la Direción de Minería.

Mediciones de las corrientes litorales en numerosos puntos de ambos golfos.

Mediciones de mareas en varios puntos de las costas de la Penín-sula.

Mediciones y observaciones del oleaje.

Estas mediciones se realizaron bajo la responsabilidad integral - de ingenieros especializados de SOGREAH, con la ayuda del personal y embarcaciones de la Marina de Guerra de la Base de Puerto Madryn.

Resulta interesante hacer algunas aclaraciones sobre diversas o-peraciones y campañas indicadas en el programa expuesto.

Los levantamientos topográficos destinados a proveer la planial-timetría prevista de la zona del istmo comprendida entre los me-ridianos $64^{\circ}28$ y $64^{\circ}35$ se realizaron por proceso aerofotográfico, controlado en altimetría por polígonos de nivelación geométrica de precisión. Como complemento, se determinaron los perfiles de los canales proyectados por nivelación de menor precisión, apoyados en los polígonos anteriores.

Los fondos de los golfos vecinos a las salidas de los canales fue-ron objeto de un levantamiento hidrográfico por medio de sondeos

con escosonda, realizados con una sonda registradora de ultrasonidos, traído especialmente de Francia e instalada en una lancha motor, cuya posición durante las operaciones estaba definida por la visión simultánea de tres teodolitos, situados en la costa en puntos de coordenadas conocidas.

Para los estudios geológicos se efectuaron 4 perforaciones de hasta 115 metros de profundidad, utilizando una perforadora portátil perteneciente a la Dirección Nacional de Minería.

El estudio del Dr. Riggi pone de relieve la notable sencillez de la composición y estructura geológica, tanto del istmo como de toda la Península Valdés, indicando claramente que desde el punto de vista estructural la península se ubica íntegramente dentro de un pilar tectónico, resultado de dos grandes fallas, que no la afectan, no encontrándose tampoco otras fallas o accidentes tectónicos de pequeño recorrido que hayan dado origen a depresiones secundarias. Resulta una configuración geológica compacta, de un terreno prácticamente único, compuesto de sedimentos limotobáceos, limoarenillosos y areniscas finas del terciario marino de la formación patagónica cubiertos de algunas capas de muy poco espesor, de sedimentos modernos del cuaternario.

La Comisión Hidrográfica del Servicio de Hidrografía Naval, se instaló en Puerto Pirámides el 8 de enero de 1958, para terminar sus trabajos "in situ", a fines de agosto del mismo año.

Las mediciones de corrientes en las zonas de posible embocadura del canal se realizaron por medio de correntógrafos, con registro automático de dirección, velocidad y autonomía de 9 días.

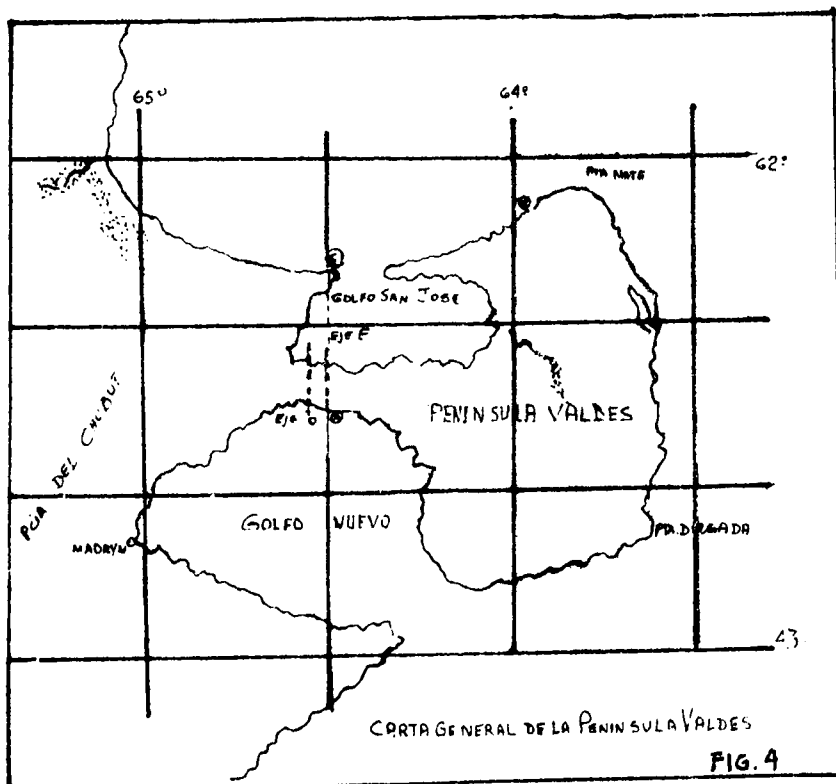
Estas mediciones han demostrado que las corrientes a lo largo del istmo tanto en un golfo como en el otro - eran extremadamente débiles e irregulares y parecían no ser debidas únicamente a la marea. Las mayores velocidades no son superiores a 25 cm/s en máximo, y

15 cm/s en promedio, no habiéndose notado inversiones de corrientes que tengan relación directa con las plea y bajamares, y están vinculadas principalmente a los regímenes de viento. Se trata de constataciones sumamente favorables e importantes.

Las mediciones de marea tienen una importancia fundamental para el estudio previsto, ya que ciertas cifras particulares - locales, de orden topográfico, meteorológico y aún accidentales, pueden modificar las curvas teóricas de marea, que resultan de las predicciones efectuadas con ayuda del Tide Predictor y contenidas en las Tablas publicadas por el Servicio de Hidrografía Naval.

Dado el grado de gran exactitud exigido por los cálculos del anteproyecto de la central, y particularmente por los relativos a potencias y ciclos de funcionamiento, fue imprescindible efectuar directamente la medición de las mareas.

Con ese fin se instalaron 5 mareógrafos de presión: 2 en el golfo San José, 2 en el golfo San Matías y uno en el golfo Nuevo. (fig.4).



UBICACION DE LOS MAREOGRAFOS

Podemos aproximadamente resumir en las cifras siguientes los resultados de esas mediciones:

Golfo San José, Punto B:

marea débil.....	+3,00	(-2,50)
marea media.....	+3,50	(-3,50)
marea alta.....	+4,00	(-3,80)

Golfo Nuevo, Punto A:

marea débil.....	+1,80	(-1,60)
marea media.....	+2,70	(-2,50)
marea alta.....	+3,00	(-2,80)

El defasaje no se presenta regularmente cada 6 horas, existiendo - ciertas desimetrías en la bajante y la creciente.

Así notamos en A:

5h30' para la creciente
7h30' para la bajante

mientras que en B:

6h15' para la bajante
6h15' para la creciente

Las mediciones sobre el oleaje, más cualitativas que cuantitativas, permiten decir que se trata más bien de un mar agitado que de un - oleaje propiamente dicho, que pudiera influir sobre la marea.

SOGREAH otorgó una importancia especial al desarrollo teórico de - los ciclos, ya consideraba de una prioridad absoluta encontrar las condiciones de óptimo funcionamiento que permitieran para las con - diciones hidráulicas existentes definir el ciclo energético óptimo, es decir, el de la energía anual máxima.

6.3.3 Canal: Este proyecto consistió en un canal que une el golfo - Nuevo con el San José, es de eje recto, de dirección nortesur. Su embocadura norte se sitúa entre Punta Espada y Punta Blanca y la sur en el Bajo del Piche.

Este canal tendrá una longitud total de 7.000 m. aproximadamente. La sección mojada es de 8.000 m²., con solera de 292 m. de ancho ubicada en la costa - 25 m., y un tirante de 25m. El volumen de excavación es de 241.000.000 de metros cúbicos aproximadamente.

Los métodos y medios de ejecución fueron objeto de detallados estudios por parte de la empresa Hersent, comparándose varios sistemas de realización. (fig. 5).

6.3.4 Central: Está ubicada en el extremo norte del canal, a la entrada del golfo San José. Se eligieron para ella grupos bulbo tipo Rance.

La comparación de distintos diámetros de rueda, números de - grupos y velocidades de rotación, condujo a la elección de - 50 grupos de 12.000 kW c/u de 6,90 m de diámetro de rueda y una velocidad de rotación de 60 rpm.

Con este número de grupos resulta un edificio de unos 1.200m. de largo, y un ancho - entre la toma y la descarga del agua - de unos 68 m.

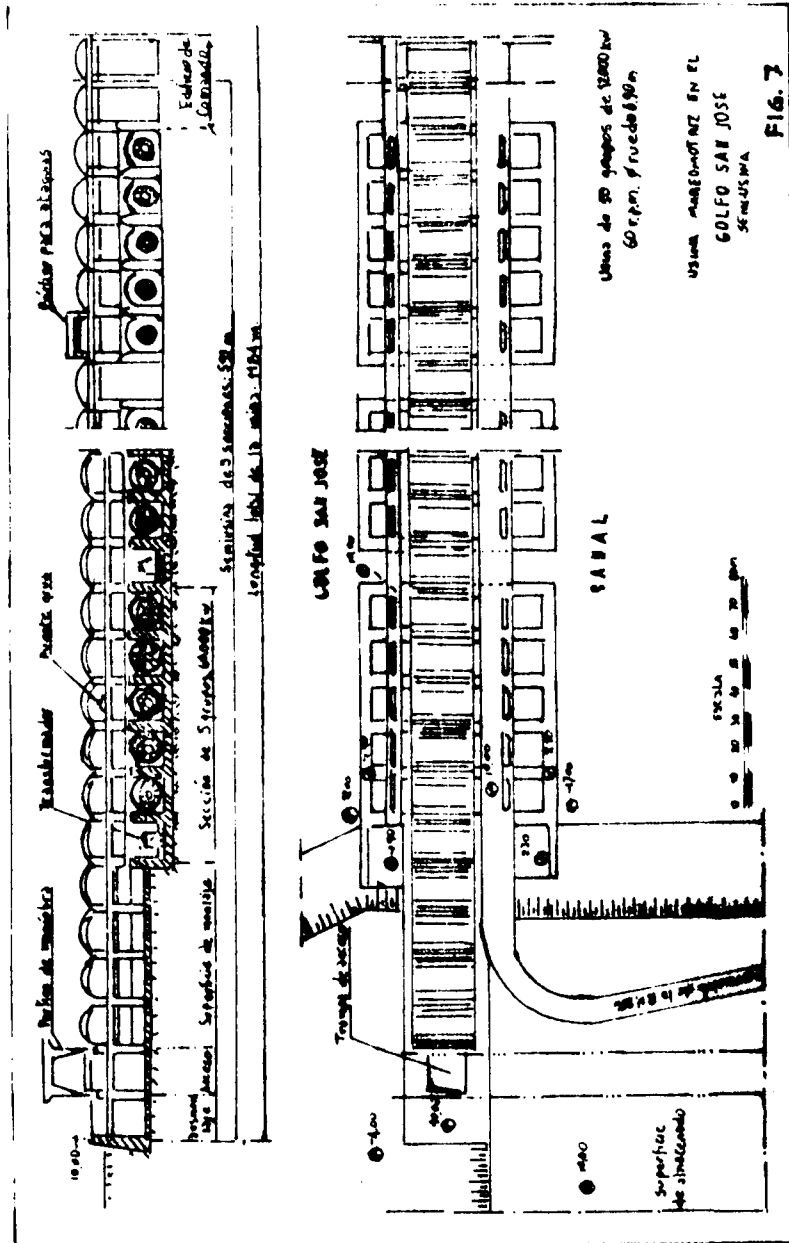
Las turbinas funcionan como turbinas directas en el sentido - San José-Nuevo e invertidas en sentido contrario.

La central que ha sido concebida como presa de contrafuertes tanto aguas arriba como abajo aloja los grupos en fosas ubi- cadas entre los contrafuertes.

Se han previsto 2 puentes que se apoyan sobre los contrafuertes, uno para permitir la circulación de los pórticos de ma- niobra y otro para el pasaje de la ruta nacional 256.

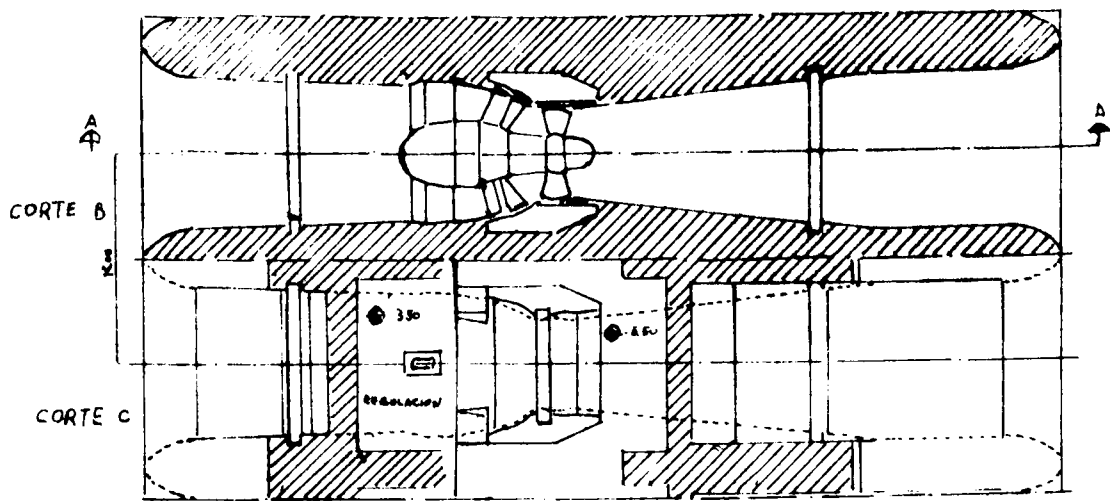
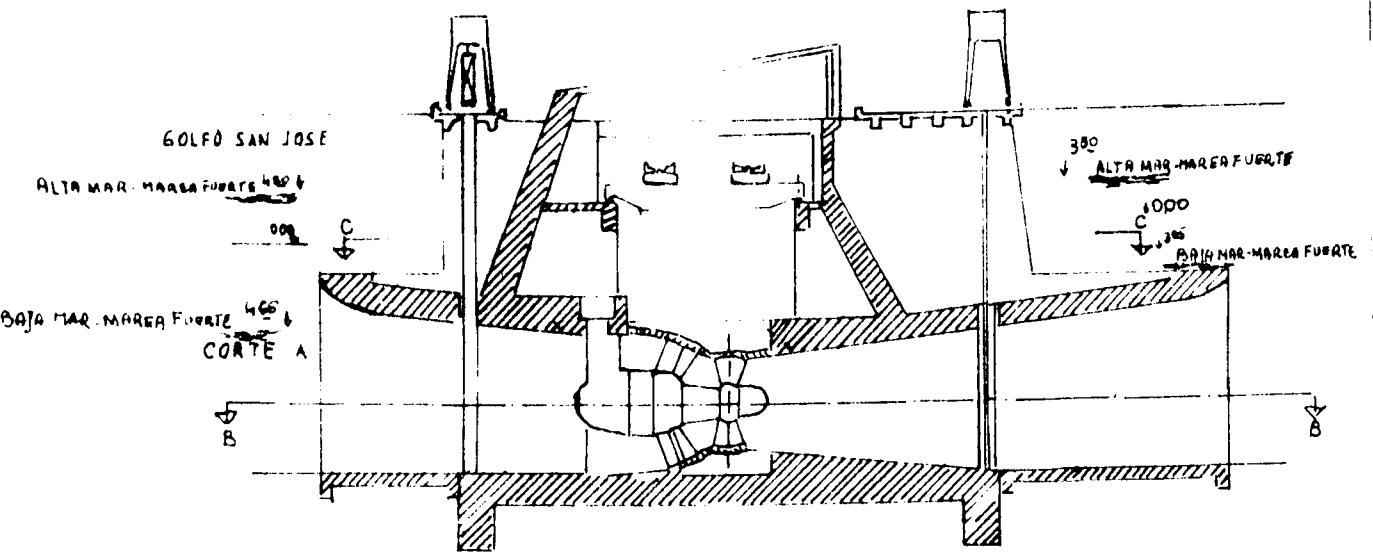
El conjunto de la Central está separado en dos partes para - la estación de control comando. Cada semi-Central consta de 25 grupos agrupados de a 5; a cada uno de éstos últimos corresponde un transformador de 60.000 kW. En el extremo de cada semi-Central se ubican 4 salas de desmontaje.

El volumen total de hormigón sería de 860.000 metros cúbicos aproximadamente.(fig. 6).



PLANTA Y CORTE LONGITUDINAL DE LA CENTRAL

Fig. 7



0.1 5 10m

ESCALA

FIG. 8.

CORTES TRANSVERSALES DE LA CENTRAL

6.3.5 Producción

La producción, elemento fundamental para la apreciación económica del aprovechamiento está condicionada principalmente a las caídas netas, deducidas de la diferencia de nivel entre ambos golfos y la pérdida de carga en el canal y al rendimiento de las turbinas, que es distinto para los dos sentidos de escurrimiento.

Podemos resumir las caídas netas en el cuadro siguiente:

<u>Marea baja</u>	Funcionamiento directo	Funcionamiento indirecto
Golfo San José.....	(+ 3,20	(-) 2,40
Golfo Nuevo.....	(-) 0,80	(+) 1,30
Caída bruta.....	4,00	3,70
Caída Neta..	3.51	3,38
 <u>Marea media</u>		
Golfo San José.....	(+) 3,20	(-) 3,00
Golfo Nuevo.....	(-) 1,50	(+) 2,70
Caída bruta.....	4,70	5,70
Caída neta	4,20	5,26
 <u>Marea alta</u>		
Golfo San José.....	(+) 3,70	(-) 3,50
Golfo Nuevo.....	(-) 2,40	(+) 2,70
Caída bruta.....	6,10	6,20
Caída neta.....	5,92	5,80

Las principales características de las turbinas, que son derivadas de las de la Rance, se resumen así

Diámetro grupo: 6,90 - Velocidad: 60 rpm. Potencia: 12.000 kW.

	Caudal	Caída	Rendimiento
Turbinado directo.....	291 m ³ /S	5,05 m	0,832
Turbinado indirecto.....	291 m ³ /S	5,80 m	0,725

Y para el conjunto de la instalación:

	Funcionamiento directo (kW)	Funcionamiento indirecto (kW)
Marea baja.....	380.000	268.000
Marea media.....	510.000	535.000
Marea alta.....	600.000	600.000

Sobre las bases así establecidas, se calculó la cantidad de energía producida de:

Turbinado directo	1.087.634.000 kWh
Turbinado indirecto	859.831.000 kWh
Total	1.947.465.000 kWh

La energía producida es generada en forma discontinua, siguiendo el ciclo de las mareas, lo que conduce, a condiciones de interconexión particulares.

El cierre de Golfo San José exigirá un dique de unos 6,5 Km. de largo, con profundidades hasta de 40 metros; aparentemente - es decir, sin entrar en un estudio detallado- la magnitud de esa obra no la justificaría si su único objetivo fuera la usina.

La apertura del canal a través del istmo aparece como más viable y aparece tener el atractivo adicional de permitir la realización de una usina no muy grande, con posibles ampliaciones ulteriores.

Sobre esta idea existen estudios del Ing.H.Erramuspe (1949) y - de una compañía consultora (1959).

Carecemos de estudios argentinos sobre nuestras mareas y sobre la técnica de su aprovechamiento, que hayan emitido opinión profesional y proponer decisiones autónomas, actualizadas.

Los estudios sobre mareas son imprescindibles tanto para el diseño de un proyecto, como para la ejecución de la obra y para la operación normal de la usina. Los estudios técnicos sobre su aprovechamiento son los únicos que nos permitirán adoptar soluciones que consulten nuestros propios intereses económicos, sociales y de desarrollo como Nación.

En forma provisoria, mientras los dichos estudios no se realicen, puede afirmarse que las usinas mareomotrices tienen dos características propias como generadoras de energía.

- inversión muy elevada
- potencia garantizada cero, de modo que deben usarse en combinación con otras, lo menos diez veces mayores, para que las fluctuaciones sean pequeñas.

Existe una sola planta mareomotriz de tamaño importante en el mundo: tiene una potencia instalada de 240 MW, producción media 100 MW y unos 500 millones de KWh anuales. Está conectada a una red de po

tencia diez veces superior por lo menos.

Fue construida (1966) como primer paso para otra mucho mayor, y como experiencia. Las consideraciones de rentabilidad jugaron papel secundario.

No se conocen proyectos en marcha para otras usinas, por ahora.

Un proyecto de ingeniería es una herramienta para contribuir a la solución de un problema social. Pensar en la instalación de una planta de energía, tiene sentido si hay un problema social de falta de energía o un problema político de promover desarrollo.

Esto, válido hasta para la instalación de una planta minúscula, se hace crucial si hablamos de unos 600 MW, si la planta ha de instalarse en una zona de escasa población e industria, y si, por fin, la planta ha de ser de un tipo tan fuera de lo común como una usina mareomotriz,

Es decir, antes de ocuparnos del costo de la obra o de los MWh que produzca, hay que elucidar porqué, en primer término, estamos pensando en esa obra.

La respuesta inmediata a esa pregunta, es: "porque la marea está ahí y tenemos que aprovecharla". Lo que es correcto.

Pero esta respuesta correcta, puede estar en contradicción con el párrafo anterior, también correcto, que recuerda que la ingeniería no es un capricho, sino una herramienta socio-política. Por lo menos, está en contradicción si inferimos que "aprovechar la marea que está" consiste en instalar una planta sin otra excusa y sin reflexionar cual es el problema socio-político que tenemos en vista.

Si aún, se tratara de una empresa corta, de poco precio y de resultados nítidos, podría echarse mano de un principio más general, y admitir que una obra destinada a producir energía necesariamente debe resolver algún problema más tarde o más temprano, pues la energía es

promotora de desarrollo.

Creemos, sin embargo, haber mostrado que una usina mareomotriz es una empresa que ha de insumir largos años, entre estudio, proyecto y realización; que tendrá un costo tal que su financiamiento planteará problemas; y que sus resultados- en cuanto al costo de la energía producida y sobre todo, en cuanto a la posibilidad de utilizarla a pesar de su intermitencia- distan mucho de aparecer nítidos. De manera que cabe la duda sobre si el problema que eventualmente puede resolver la energía de las mareas, no es menos importante que los problemas que - indudablemente plantea.

Hay varios aspectos sobre los que necesitamos reflexión; y otros aspectos habrán de aparecer en el camino. Pero sin duda necesitamos:

- estudiar nuestro sistema de mareas, tanto teórica como experimentalmente.
- estudiar la aplicabilidad de grupos bulbo a diversos puntos de nuestra costa, o a ríos que ofrezcan pequeñas caídas.
- construir modelo a escala de P.Valdes, para ser estudiado en la laboratorios hidráulicos, con vistas a analizar anteproyectos.
- estudiar los avances de la técnica y ejercitarnos en hacer distintos diseños de plantas, con distintos criterios de aprovechamiento.
- estudiar las consecuencias socio-económicas que tendría para la zona, la instauración de un aprovechamiento energético.
- estudiar las consecuencias de la apertura de un canal en istmo Carlos Ameghino, desde el punto de vista social, de navegación, ecológico, legal, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- 1) Instituto Real de Ingenieros de Holanda. Descripción del delta del Rin, del Mosa y del Escalada. De Ingenieurs, 10 de Febrero 1956.
- 2) LOSCHAKOFF, M.J. Descripción del plan Holandes para el cierre del delta formado por los ríos Rin, Mosa y Escalada. En Construcciones, Mayo 1957.
- 3) ALSINA, F. Las mareas y su energía; El caso de la Península Valdes. Fundación Bariloche, Junio 1975.
- 4) RICHTERICH, J. La central mareomotriz de la Península Valdes. Secretaría de Energía y Combustible, Diciembre 1959.

La recopilación se realizó utilizando los trabajos de F. Alsina, Richterich y M.J.Loschakoff principalmente. La autora agradece la colaboración del Dr. F.Alsina y del Ing.J. Mezza por el material bibliográfico facilitado.