

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA SANITARIA



TESIS

CONVERSIÓN DEL AGUA DE MAR Y SU POBILIDAD DE
APLICACIÓN EN EL PERÚ.

CARLOS PANDAL RINGGOLD

1961
LIMA PERÚ

INTRODUCCION

La presente Tesis, tiene por fin, realizar una exposición de algunos de los métodos para la desmineralización del agua de mar o salinas, en provecho de comunidades: caletas, balnearios, ciudades costeras, industrias, etc., y también su aprovechamiento en la explotación de nuevas tierras de cultivo, áridas en las costas, y las posibilidades de su empleo en el Perú.

Actualmente el Perú tiene pocos centros industriales o grandes focos comerciales; esto se debe en parte a la falta de plantas de poder que puedan abastecer de la energía necesaria para el movimiento de sus maquinarias. En nuestra costa podemos fijar cuatro focos principales, como son: por el Norte, Piura (Talara) y Ancash (Chimbote); por el Centro Lima (el más grande); y al Sur, Arequipa.

La formación de Centros industriales trae como consecuencia ocupación de manos de obras y, por lo tanto, mejoramiento en el nivel de vida del trabajador peruano, así como un amplio uso de las materias primas de las cuales el Perú es rico.

Las estadísticas indican que para el lapso o al término de

10 años habrá una desocupación de 2'000,000 de peruanos por falta de Centros de labor, por lo tanto esto traería la baja del costo de mano de obra, debido a la competencia, pero con la consecuente miseria de vida del obrero.

Los métodos actuales de conversión del agua de mar en potable, son caros por ahora, pero su costo de producción va bajando año a año con resultados verdaderamente halagadores. Sin embargo, su aplicación sólo para uso de irrigación es muy alto, tanto que en los Estados Unidos no han llegado todavía a ésta aplicación.

En los Estados Unidos y Rusia, se han realizado estudios y desarrollos a la solución más barata de desmineralización de aguas salinas o salobres, al igual que en Francia (en la Costa de Marfil, trabajo que hoy se encuentra abandonado); habiendo puesto a disposición de los encargados de dichos estudios, cantidades grandes de dinero. Así, en los Estados Unidos se otorgaron \$ 10'000,000, equivalentes a 277'000,000 de soles peruanos, al cambio de S/. 27.70 por dólar.

Israel mismo, siendo un país pequeño y de reciente creación, en su mínima extensión de tierra árida, hostil y pobre realiza estudios al respecto y ya ha construído Centrales para la conversión de agua de mar y formación de Centros Comerciales o de explotación.

Pero si bien los métodos dan un costo bastante alto de explotación, ello se justifica para zonas en que el abastecimien-

to de aguas sólo puede hacerse por medio de gigantescas obras de irrigación que demandan mucho tiempo, tales como varios años lo cual hace que el gobierno no pueda aprovechar el terreno incorporado a la agricultura sino después de 2 o 3 años de haberse entregado la obra completa (tiempo mínimo de preparación de la nueva tierra para la agricultura); también se justifica para los Centros militares que, por estrategia, se encuentran en sitios áridos, o cuyos pozos den aguas salobres.

La aplicación de Centrales de Poder, por algunos de los mé todos que se van a exponer más adelante, pueden montarse en un tiempo mucho menor que aquellos de obras convencionales; el aprovechamiento de los Centros Industriales será inmediato, tan luego como se entregue la obra.

Solo podemos invertir el capital para la formación de Centros, tanto industriales como comerciales, así como el aprovechamiento del agua por parte del capital humano e industrial, y luego su tratamiento para el uso en irrigación, de tal manera de aprovechar al máximo el agua así conseguida.

Actualmente hay plantas de poder, como son las plantas de energía nuclear, con las cuales se obtienen 50,000 kws. netos (cantidad que produce la Central del Santa, Cañón del Pato, por el momento) y seis millones de galones, cantidad aproximada a 24'000,000 de litros o 24,000 toneladas de aguas diarias. Los americanos han diseñado una planta nuclear para fuente de energía y de conversión de agua de mar, para una producción de 15'000,000 a 20'000,000 de galones diarios de aguas, cantidad que

llega a las 75,000 toneladas de aguas diarias.

Esferas políticas, así como sociales y particulares, están ahora interesadas en la solución a una posible explotación de las tierras que son áridas en nuestra costa, debido a la falta de agua para irrigación.

Los diferentes periódicos del país han dado su opinión al respecto y hecho conocer las opiniones de algunos parlamentarios sobre el problema.

El ingeniero Belaunde Terry ya ha interesado en el año de 1959 a los alumnos del 5° año de la Facultad de Ingeniería Civil acerca de tesis sobre estudios de tierras sin explotar que se hallen ubicadas en la costa de nuestro territorio. Ya él nos habla, en el curso de Urbanismo, de que el abastecimiento en la Costa es de 1/8 Ha./cápite, cuando la base debía ser por lo menos de 1/2 Ha./c. a 1 Ha./c.

En el mismo punto incide el general del ejército José del Carmen Marín, en su curso de Defensa Nacional, después de hablarnos sobre la política económica del Perú, nos dice: "Es sabido que por hoy desgraciadamente nos encontramos entre los países sub-alimentados, y que la causa es nuestra insuficiente producción agropecuaria cuya primera manifestación objetiva la tenemos en la relación Tierra cultivada-Hombre, la cual es ínfima: 1/5 Ha./c., debiendo ser por lo menos 1 Ha./C. Somos deficitarios en carne, trigo, arroz, grasa, y conocemos las cantidades que nos faltan con respecto a los niveles normales de

consumo de estos artículos ... etc."

El 37% de la Renta Nacional proviene de la Agricultura y Ganadería; aproximadamente siete décimas partes del personal obrero y campesino del total se encuentran ligados a esta explotación (La Prensa). La situación se agrava más al tener que importar varios cientos de millones de soles en alimentos para el pueblo (El Comercio).

Otro problema amenaza a las tierras agrícolas de la costa y es el agotamiento de las napas acuíferas; ya en Ica se presenta este problema, pues se hayan instalados 930 pozos tubulares, con una inversión total de 232'500,000 soles.

Al Valle de Ica corresponden 600 pozos con un costo de 150'000,000 de soles, y un costo de funcionamiento de S/ 22'000,000 (Dato obtenido de El Comercio).

Por otro lado, el Perú puede convertirse en un país potencialmente industrial, la materia prima la tiene, al igual que la mano de obra, lo que falta es formar los Centros de Trabajo lo cual demanda capital.

Estados Unidos ha tenido, en estos últimos años, obstácu- los al respecto, como fué el racionar el agua a 24'000,000 de personas que vivían en 1072 localidades de 45 Estados (Mecánica Popular, pág. 71, de Julio de 1959). En Texas llegó a venderse el litro de agua a \$ 0.13. Tan solo la industria consumió 291'000,000 de litros al día, al año pasado (1958).

Por otro lado, los esfuerzos para encontrar agua guiaron

al hombre a profundizar la excavación de pozos con el solo resultado de que ahora el agua sale con gusto salobre o salino (Estados Unidos), y el mismo problema se está presentando en nuestro medio (algunos balnearios al norte y sur de Lima). El Dr. Tossi, en una conferencia sustentada en el Instituto de Urbanismo, decía que no era conveniente la perforación de varios pozos en una zona cercana al mar, ya que al bombearse el agua dulce bajaba la napa acuífera, y por consiguiente el empuje del agua salina aumentaba al no encontrar mayor resistencia por parte del agua subterránea, que era la que marcaba el límite del nivel del agua salobre.

La presente tesis la he dividido en dos partes; en la parte I se encuentran los siguientes capítulos:

- I .- Historia.
- II.- Conocimientos previos (datos sobre cantidades de sales permisibles).
- III.- Clasificación de los métodos.- Explicación de los métodos (según la clasificación adoptada).
- IV.- Comparación de costos (cuadros).

Por último, en la segunda parte (parte II), se hace mención a la aplicación de uno de estos procesos.

La bibliografía de consulta se encuentra al final de la tesis.

Todo este complejo problema de la conversión de agua de mar me ha guiado a presentar ante Uds. la presente tesis, problemas expuestos por personas y técnicos conocedores de la si-

tuación económica del Perú, siendo necesario, para solucionar este estado económico, el aprovechar al máximo las fuentes de riqueza por medio de la industria y la agricultura.

Ojalá este aporte por mi parte, pueda ser de utilidad para aliviar en algo la actual situación, ya que sólo esa preocupación me ha guiado; pues será un medio para adquirir mayores riquezas de nuestra tierra y una creación de nuevas industrias así como un mejoramiento en la calidad de las aguas municipales de ciertas localidades en nuestra costa.

Gracias

Carlos Pandal Ringgold

I PARTE

CONVERSION DE AGUA DE MAR, METODOS, COSTOS

C A P I T U L O I

HISTORIA

No se puede comenzar la presente tesis, sin exponer brevemente los esfuerzos realizados por el hombre para ganar tierras y obtener agua fresca para su consumo. Desde tiempos inmemorables el hombre ha buscado los medios posibles para la conversión del agua de mar, ya que ésta es una inmensa fuente de este elemento.

Winston Churchill, en su obra "A History of the English Speaking People", en la página 93 del Tomo III, hace referencia a lo siguiente: "en junio de 1721 las acciones de la compañía de los Mares del Sur, llegaron a valer 1,050% ... no había límite a la credulidad de la gente; un promotor organizó una compañía para fabricar la ametralladora Puckle's que debía dispa-

rar balas redondas y cuadradas, revolucionando totalmente el arte de la guerra, las balas redondas estaban destinadas a matar cristianos y las cuadradas para matar turcos. Otros promotores solicitaron suscripciones para convertir el "agua salada en dulce", para construir una rueda de movimiento perfecto".

Podemos observar que ya desde aquella época el hombre tenía en mente la transformación del agua de mar, aunque su fin no fuera para la irrigación o para uso potable, puesto que en Inglaterra no se sufre de sequía, y su fin más bien era para a aplicación de orden físico y mecánico; pero el hecho es importante porque indica el anhelo del hombre por convertir el agua salada en dulce.

Los problemas del fantasma de la sequía que se cierne en algunas zonas de los Estados Unidos, ha hecho que este país tomara también un camino con la idea de conversión del agua de mar para satisfacer sus necesidades. Ya hemos manifestado en la introducción de esta tesis, que el año pasado hubo grandes extensiones de varios estados de este país que sufrieron grandes sequías obligando a racionar el agua, tanto para la población como para la industria. Este hecho ha guiado a los Estados Unidos desde 1952 en que se fundó la "Oficina de Aguas Salinas" a realizar intensivos y profundos estudios para la solución más favorable, económicamente, a la obtención de este elemento, tan necesario a su pueblo y a la explotación de tierras áridas. Debemos tener en cuenta que los estudios de investigación se llevaban a cabo desde años anteriores por capitales e

intereses particulares y recién a partir del año 1952 el Gobierno de los Estados Unidos apoyó económicamente estos estudios. Por tal motivo se dió en el Congreso de ese país la Ley Pública 448-82D Congreso, Capítulo 568-2D Sesión H.R. 6578, dada el 3 de julio de 1952, cuya primera parte a la que se refiere la Ley dice:

"Proveer para estudios y desarrollos dentro de métodos prácticos y de producción económica, desde el mar o de otra agua salada, de agua utilizable para la agricultura, industrias, usos municipales, y beneficiar otros usos y para otros propósitos".

Continúa luego con los estudios y desarrollos sobre agua salada, autorizaciones al Secretario del Interior, cooperaciones con el Departamento de Defensa, disposiciones, dinero, informes, regulaciones y apropiaciones. En junio de 1955 se dió otra ley Pública para una mayor ayuda a la Ley anteriormente nombrada, llegando el subsidio hasta una cantidad de 10 millones de dólares. Posteriormente, el 2 de septiembre de 1958 se agregó otra nueva Ley Pública proveyendo el dinero necesario para la construcción de plantas demostrativas para la producción desde aguas salobres o saladas, de agua conveniente a la agricultura, industria y usos municipales, debiendo ser cinco las plantas de demostración.

Los 10 millones de dólares deberán utilizarse en el período de 1952-66 ya que la Ley Pública 448 autorizaba dos millo-

nes de dólares para un período de cinco años (hasta el momento sólo 2 millones 250 mil dólares han sido destinados a estos estudios y desarrollos).

Del informe del Departamento del Interior de los Estados Unidos, presentado por Mr. Fred A. Seaton al señor Presidente de los Estados Unidos de las labores realizadas en 1952, se da a conocer una clasificación que se tomó en cuenta al principio de los métodos, dentro de la cual han sido eliminados ya algunos. En el informe presentado en 1957 se hace una nueva clasificación:

- 1.- Proceso de destilación;
- 2.- Procesos solares;
- 3.- Procesos utilizando membranas permaselectivas;
- 4.- Procesos refrigerantes; y
- 5.- Otros procesos.

En este capítulo sólo damos, en forma general, la clasificación, pues más adelante, en el capítulo respectivo, hablaremos detalladamente de algunos de los métodos más prometedores. Unicamente los nombramos para hacer un relato histórico de ellos.

Desde 1952 hasta la fecha se ha recibido en la Oficina de Agua Salina, alrededor de 600 sugerencias a la solución del problema, pero 58 ofrecían suficientes méritos científicos para justificar una ayuda y realizar contratos de su estudio y desarrollo.

La clasificación anteriormente dada simplifica el orden de los métodos ya que clasifica mejor los sistemas; en cambio, en la clasificación antigua, realizada bajo el punto de vista de los fenómenos de carácter físico, químico, eléctrico, etc., se mezclaban los métodos dentro de un proceso u otro.

Debemos tener en cuenta que algunos procesos se han desechado año tras año debido a que no dan los resultados apetecidos. Por ejemplo, en el informe de 1958, dado a conocer en febrero de 1959, se desechan sistemas nombrados en el Informe de 1957.

El proceso de destilación era un medio de conseguir el agua dulce o fresca, desde soluciones de agua salada, pero su costo variaba entre \$ 2 a \$ 5 por cada 1,000 galones. La destilación ha sido utilizada desde hace cientos de años, por ello, en los comienzos de 1952 casi todos los estudios consideraron a éste como uno de los métodos potenciales de la obtención de agua, trayendo como consecuencia un desarrollo de todos los sistemas y equipos.

Recién en el verano de 1953 se obtuvieron, después de una larga serie de experimentos y ensayos, varios sistemas que, en gran escala de explotación, daban un costo bajo para agua industrial, municipal y de agricultura.

Sin embargo, los sistemas de evaporación dan como resultado altos costos, pues vemos que en cualquier barco de guerra, como son los porta-aviones, que utilizan 230,000 litros de agua

al día, su costo es de \$ 0.10 por litro, o sean 23,000 dólares diarios, con un gasto mensual de \$ 690,000. En el último portaaviones que está construyendo Estados Unidos, que será el más grande que exista, se ha diseñado un evaporador para 1'000,000 de litros por día, pero a un alto costo. En estos casos el gasto está justificado, al igual que los evaporadores de agua en los transatlánticos.

La Oficina de Aguas Salinas, firmó contratos con la Heinz Engineering Company para los estudios de los destiladores por vapor-compresión en grandes estructuras, comenzando al mismo tiempo los estudios en otros sistemas, como el de las superficies rotativas de destilación de Hickman, por medio de la Badger Manufacturing Co., los estudios de la Universidad de Yale en la circulación forzada y caídas de condensación, al igual que las posibilidades de aplicación de la energía Nuclear en los evaporadores.

Las investigaciones utilizando la energía solar comenzaron bajo el programa de estudios de 1953. Esta energía ha sido usada desde hace mucho tiempo, pues en el año de 1872 fué propuesta para las Salinas de Chile, construyéndose una gran destilería. Uno de los primeros estudios lo realizó el Doctor George Loff, quien había realizado trabajos experimentales en 1948-49 para la Federal Works Agency, pero el método requiere de grandes extensiones de terreno; en general, todos los sistemas que utilizan la energía solar requieren de extensiones relativamente grandes, pero últimamente se están reduciendo es--

tos inconvenientes ya que están mejorando los materiales de obtención de energía solar. Otro sistema es el del Dr. L. A. Bromley, que utiliza una serie de bandejas que se hallan en un eje vertical, ingresando el agua de mar a ellas. El vapor que ingresa por la parte inferior hace que gire el sistema y se va evaporando el agua salada, pasando sucesivamente por los colectores; la salmuera es eliminada. El Dr. Bromley asegura que utilizando una serie de unidades de 3.50 mts. de alto y de unas 20 a 50 bandejas, podrían obtenerse 38,000 ton/día de agua fresca.

Otra idea es la de la Dra. María Telkes que construyó un alambique de diez etapas (1957), constituido por una serie de capas de telas negras entre las cuales se realiza la evapora--ción y condensación sucesivamente. El costo actual es alto, pero se asegura que aumenta el rendimiento en cinco veces.

Los estudiosos aseguran que estos sistemas, utilizando la energía solar, serán únicamente utilizados para obtención de agua de uso doméstico, debido a que se necesitan vastas zonas de exposición.

Para aumentar el rendimiento, la Bjorksten Research, al igual que la Dupont fueron encomendadas por la Oficina de Aguas Salinas para un estudio de utilización de plásticos en estos métodos para aumentar el rendimiento.

Los materiales se están escogiendo entre los estudiados desde 1919 a 1956 para obtener como resultado un material dura

ble y que almacene energía solar.

En cuanto a los procesos de utilización de membranas permselectivas, en 1952 comenzaron los estudios apoyados por el gobierno. Cabe decir que el método de mayores probabilidades era el de la electrodiálisis con eliminación de sales; en realidad, en 1940 Meyer y Strauss demostraron que en una serie de cámaras podrían alternarse separadamente membranas de este tipo, es decir, colocando una positiva y otra negativa sucesivamente, y haciendo pasar una corriente eléctrica a través de ellas sería posible disminuir la concentración de la solución. Actualmente se encuentran en muchos países estudiando las mejoras de este método, como son: Japón, Holanda (que actualmente está fabricando una máquina capaz de desmineralizar 50,000 toneladas diarias), y Estados Unidos donde la Ionics Incorporated ha realizado estos estudios y llevado a cabo trabajos de abastecimiento de aguas por este método (un ejemplo es la ciudad de Coalingas). Actualmente el precio de producción es de más o menos \$ 0.40 por cada 1,000 galones, pero este precio bajará en los años posteriores, debido a los estudios que se están haciendo sobre los costos de membranas, equipos, energía y operación.

El proceso de los sistemas refrigerantes, tiene cierta ventaja en la aplicación de separación de sales provenientes de agua. En los últimos dos años el programa de ayuda del gobierno no ha dado mayor énfasis al estudio del proceso refrigerante. Sin embargo, hay una complicación, que es la formación de cristales helados de sales, con la oclusión de salmuera, que difi-

cultan los estudios y desarrollos. Pero la combinación de refrigeración con evaporación presenta un buen panorama y una atractiva posibilidad si esas dificultades son subsanadas. La más importante ventaja en este proceso es la refrigeración a bajas diferencias de temperaturas. El primer estudio sobre dicho sistema, dentro del programa comenzado por la Oficina de Aguas Salinas, fué encomendado a la Universidad de Washington, y terminó el año 1956; el primer objetivo era el de ver si existían maquinarias o equipos comerciales para el proceso, y predecir el costo de producción. El Batelle Memorial Institute ha seguido investigando la técnica de la zona-refrigerante en la conversión del agua salobre o salina.

El costo de producción sin embargo puede considerarse dentro de los \$ 0.50 a \$ 1.00 por 1,000 galones. Se está completando el diseño de una planta piloto (1957), cuya estructura actualmente debe estar bastante avanzada.

En cuanto a la última clasificación dentro de la cual se encuentran los sistemas de Extracción de solventes, Combinación de la energía nuclear, Aplicación de la ultra-alta frecuencia de corriente, y otros estudios, podemos afirmar que en estos procesos intervienen tanto los fenómenos físicos como químicos, pudiendo considerarse como un camino hacia la conversión del agua de mar.

Aquí entran los procesos de sublimación, adsorción, difusión térmica, y técnica de la difusión gravitacional. Bajo un programa de la conversión del agua de mar organizado por la O-

ficina de Aguas Salinas se ha firmado un contrato con la Research Division of the Fluor Corporation Ltd. asistida por el consejo de Reactor Development Division of the Atomic Energy Comission. Los estudios en este campo siguen avanzando, el costo actual de producción es de \$ 0.63 por cada 1,000 galones, (pudiendo bajar). Por otro lado debe considerarse el alto costo de inversión de reactores atómicos.

Debemos agregar a esta historia de los procesos, que en 1956 interesó a la Oficina de Aguas Salinas, la Griscom-Rusell Company, en estudios y desarrollos de un evaporador tipo Flash de baja temperatura. Dos diseños se propusieron: uno era de 100,000 galones por día (GPD), y otro de 10'000,000 GPD de capacidad con un costo de \$ 1.20 por 1,000 galones para la planta de 10'000,000 GPD y de \$ 1.75 para la planta de 100,000 GPD pero prometía que, realizando ciertos ajustes y procesos previos, podría bajarse su costo de producción a \$ 0.71 para mil galones del diseño de 10'000,000 GPD y de \$ 1.28 para los mil galones del de 100,000 GPD.

Del informe de 1957 de la Oficina de Aguas Salinas, dirigida por Fred A. Seaton, se tiene noticias que otros países se encuentran abocados a la obtención de un método para la conversión del agua de mar; entre ellos se encuentran:

JAPON.- En el estudio de refrigeración del agua por la Electrotechnical Laboratory, al igual que el estudio de Electrodialisis.

ITALIA.- Energía solar, estudios de la Universidad de Bari, por el profesor Nebbia.

FRANCIA.- Flash Destilación.

ISRAEL.- Con varios estudios avanzados, utilización de la energía solar y la migración del electro-ión.

HOLANDA.- Estudios de la Electro-diálisis.

YUGOESLAVIA.- Profesor Rekar Ljubljana, estudios por el proceso de cristalización.

ALEMANIA.- Estudios encomendados por la Industria Alemana.

INGLATERRA.- Las fábricas de Permutit y otras firmas.

RUSIA.- La utilización de la energía solar, así como una nueva destilación sin caldera, según últimos informes este método consiste en inyectar agua de mar dentro de una cámara en la cual se pone en contacto con la llama de otro inyector, se evapora, obteniéndose partículas de sal sólidas y gases. Un filtro aísla a las partículas sólidas y el agua se recibe en un recipiente. Los resultados por este método parecen ser muy buenos (conferencia del Dr. Dumesnil en la Sociedad de Ingenieros - Lima).

C A P I T U L O I I

C O N O C I M I E N T O S P R E V I O S D A T O S S O B R E C A N T I D A D E S D E S A L E S P E R M I S I B L E S

No podemos continuar la presente tesis sin dar los datos sobre las cantidades de sales que el hombre puede aceptar disueltas en el agua, ya sea para su uso como agua potable o para agricultura, así como para la industria.

El término de ppm. (partes por millón) es usado para expresar el total de sólidos disueltos en el agua (Ionics Incorporated); el promedio de sólidos disueltos en el mar es de : 35,000 ppm. de sal (sólidos disueltos), por otro lado el U.S. Public Health recomienda 500 ppm. para aguas de bebida, pudiendo aceptarse hasta 1,000 ppm. cuando proviene de una alta concentración salina.

Sin embargo, en otros países pueden aceptarse hasta 1,500 ppm. (Dr. Dumesnil), más de ésta proporción o concentración no se puede aceptar pues provoca en el hombre vómitos, llegando en algunos casos a presentarse casos de locura (ciertos náufragos, en la última guerra mundial). En general, debe aceptarse una concentración para los pueblos de 500 ppm., y en las ciudades de zonas áridas, en las cuales se tiene carestía de agua, hasta de 1,500 ppm.

Un caso típico de esto fué el problema que tuvo Francia con los técnicos que trabajaban en el norte de Africa (Desierto de Sahara), los cuales exigían un agua desmineralizada por completo, pero estudios posteriores demostraron que en el cuerpo circulaba de 10 a 15 litros de agua, que se eliminaba por transpiración, y que, para compensar esa pérdida, era necesario que cada cierto tiempo los hombres tomaran una pastilla de sal, lo cual era paradójico. Por esto, se desmineralizó el agua hasta una cierta concentración ya determinada por los técnicos que habían realizado los estudios. Actualmente se opera en esta forma.

Al hablar de agua desmineralizada no significa que ella se encuentre completamente desmineralizada; el hombre necesita de una cierta cantidad de sal, sobre todo en la época de verano, por la transpiración que sufre. Por otro lado, el ganado también necesita de cierta cantidad de sal, pues exige para su subsistencia una concentración de sales en el agua; el que acep-

ta mayor cantidad de sales es el carnero (10,000 ppm.).

En la Industria, en la cual se utiliza calderos, es necesario saber que para el trabajo de ellos debe tenerse 0.2 grs/lt. o sea 200 ppm. para calderos de 40-50 Kg/cm² de presión; para calderos modernos que trabajan a 100 kgs/cm² hasta 100 ppm. y para los calderos muy modernos de vaporización instantánea se debe utilizar menor concentración (1-2 ppm.).

En cuanto a la agricultura, para la cual todavía los métodos de desmineralización del agua de mar no ofrece un bajo costo de producción agrícola, debe considerarse que el ClNa es fastidioso para los cultivos, pues produce un atrofiamiento de los poros del suelo, al igual que en el crecimiento de las plantas; cuando el agua es poco cargada de sal, hay mayor afloración, las raíces continuamente están bañándose en el ClNa y la presión osmótica es mayor en el exterior que en el interior, sacando el agua a la superficie. (Se acepta 1,200 ppm.).

Por ahora los sistemas no son recomendables para la irrigación.

Veamos ahora cómo se encuentran las concentraciones de sales en nuestro mar, frente a la costa. Por un lado debemos de saber que en nuestro litoral costero se presenta una diferencia de agua de mar, de Sur a Norte, debido a las corrientes que pasan cerca de la costa, ya sea la Corriente del Niño, la Corriente Ecuatorial, o la Corriente Peruana (de Humbolt). Todas estas corrientes hacen que el agua de ellas sea de alta salinidad

en correlación con las temperaturas más altas, comprobándose que se trata de un tipo ajeno al de aquellas que se encuentran en la costa (Erwin Schweigger: Litoral Peruano).

Herman Buse en su Libro "El Mar del Perú" dice en la pág. 25 de su interesante narración: "En volumen, la superioridad del mar sobre la tierra es aplastante. En cifras redondas, la tierra emergida tiene un volumen de 100 millones de kilómetros cúbicos, en tanto que el mar eleva esta cifra a 1,300 millones. De las tierras, las aguas de lluvia, formando desagües fluviales permanentes o eventuales, arrastran a los mares enormes cantidades de materias sólidas, tanto en suspensión (sedimentos) como en disolución (sales). El agua de mar contiene en promedio 3.5% de sales disueltas (lo que se expresa también con el equivalente 35 por mil), en la siguiente proporción:

Cloruro de Sodio	2.7	%
Cloruro de Magnesio	0.4	"
Sulfato Magnésico	0.2	"
Sulfato Cálcico	0.15	"
Cloruro Potásico	0.05	"

De las sales que contiene el agua de mar la más abundante es el cloruro de sodio o sal común (sal de cocina), que en el Perú se extrae por el proceso de evaporación en las Salinas. Su porcentaje sobre el total de sales es de 77.7%. Todas las sales que contiene el mar, han llegado por los ríos. El agua de los ríos sin embargo, distinguida con el nombre de agua dulce en contraposición al agua salada de los mares, escasamente

contiene 0.175 por ciento de sales (entre las cuales ocupa lugar muy discreto el cloruro de sodio, con sólo 2.2%). La mayor salinidad de los mares se explica por la acumulación a través de cientos de millones de años".

Este problema de la salinidad se ha presentado en algunas perforaciones de los pozos, ya sea para agua de regadío o para agua potable, debido a que se ha perforado tan profundamente que se ha llegado a un nivel tal que se encuentra el agua dulce mezclada con las filtraciones del agua de mar, o bien puede ser que al succionar la bomba del pozo, al comienzo se obtenía agua dulce pero después la corriente succionada ha llevado consigo una corriente de agua salada, o también que se haya llegado a un bolsón de agua dulce y que al agotarse éste se haya succionado agua salada; por último, se presenta el caso de que la corriente de agua dulce subterránea haya cruzado por un estrato salobre, con lo cual ha tomado el gusto salino.

En el Perú se ha presentado estos fenómenos; tenemos varios ejemplos de ellos: en la costa, la playa de San Bartolo (hacia el Sur de Lima) cuenta actualmente con un agua salobre, que es rechazada por las personas que van a pasar sus vacaciones de verano, y también algunas veces por los habitantes mismos del lugar. Otro ejemplo es el de Piura, cuya agua algunos turistas sindicán como de gusto salobre. Los intereses particulares se han visto amenazados por este problema, como por ejemplo las minas de San Juan (Marcona) que traen el agua desde Panamá; algunas compañías petroleras también han tenido que e-

char mano a sistemas de tratamiento de aguas salobres o de mar para satisfacer las necesidades de sus trabajadores e industrias.

C A P I T U L O I I I

CLASIFICACION DE LOS METODOS

En realidad la Oficina de Aguas Salinas, para llegar a la clasificación que usa actualmente, ha pasado por clasificaciones no muy bien definidas ya que algunas veces un proceso o sistema podía considerarse dentro de uno u otro orden por ellos determinado. Por ejemplo, la clasificación de los métodos por procesos:

- 1.- Procesos físicos,
- 2.- Procesos químicos, y
- 3.- Procesos eléctricos.

Es una clasificación muy general y no determinante pues el proceso de electrodiálisis, por ejemplo, puede estar considera-

do tanto eléctrico como químico o físico. Esta misma clasificación la sigue el Dr. Dumesnil, y así lo expresó en su conferencia.

Recién en 1957 han podido llegar a una clasificación más clara y precisa, y es la siguiente:

- 1.- Procesos de destilación,
- 2.- Procesos solares,
- 3.- Procesos utilizando membranas permselectivas,
- 4.- Procesos refrigerantes, y
- 5.- Otros procesos. Dentro de este último grupo está el método nuclear y el proceso francés.

En adelante utilizaremos esta clasificación pero no explicaremos todos los métodos que ellos han catalogado dentro de uno u otro grupo, sino que tomaremos en cuenta aquellos que son más asequibles a nuestro medio económico, y otros los nombraremos por cultura.

Respecto a ellos, vamos a considerar los siguientes:

Métodos o procesos de destilación.- Una breve explicación de los estudios organizados por la Oficina de Aguas Salinas de los Estados Unidos; algo sobre los destiladores de la Cleaver-Brooks y los fabricados por la Maxim Company.

Procesos solares.- Respecto a estos procesos haremos una introducción a ellos; hablaremos a continuación sobre la utilización de los plásticos; después, y muy brevemente, sobre los métodos de la Dupont, de la Dra. María Telkes y del Dr. George

Loff.

Procesos utilizando membranas permselectivas y electodiálisis.- Estudios hechos sobre este proceso, modo como funciona, y la aplicación de las membranas stack de la Ionics Incorp.

Procesos refrigerantes.- Funcionamiento de las plantas, en forma resumida.

Procesos diversos, u otros procesos.- Explicación del método francés y del método atómico.

PROCESOS DE DESTILACION

INTRODUCCION

La Oficina de Aguas Salinas, al comenzar su actividad como entidad encomendada por el gobierno para la investigación sobre la conversión de agua de mar o salada, apoyó los estudios sobre la conversión de agua salada y sus desarrollos en lo que respecta a los destiladores o evaporadores, porque desde tiempo inmemorial el hombre evaporaba el agua de mar en vasijas que luego condensaba por el enfriamiento de este vapor. Los costos que se obtuvieron en 1952 variaban entre los \$ 2.00 a \$ 5.00 por cada 1,000 galones de agua fresca. Pero desde 1953 se tuvieron esperanzas de poder obtenerse menores costos, en plantas productoras en grandes escalas.

Ahora estos estudios se han desarrollado grandemente con la cooperación de la Oficina de Aguas Salinas, con aplicaciones nuevas en cuanto a fabricación de evaporadores, tales como los evaporadores de: compresión de vapor, combinación de compresión de vapor y sistema de múltiples efectos, combinación de producción eléctrica y agua destilada por la energía nuclear.

Como resultado de estos desarrollos y avances se puede llegar a bajar el costo hasta los \$ 0.50 por 1,000 galones de producción de agua fresca.

Antes de avanzar más sobre el punto, tratemos sobre la cantidad de energía requerida para la conversión de agua salada o salina.

La conversión de agua de mar en agua destilada debe realizarse teóricamente por el consumo de una cierta cantidad de energía. Esta cierta cantidad de energía para la separación de agua de los iones de sal puede ser calculada por varios sistemas, pero el más simple de todos es el siguiente, por medio del cual nosotros obtenemos la mínima energía requerida (ver figura N° 1):

Se toman dos vasijas del mismo tamaño cerradas herméticamente: en la primera se tiene agua dulce y en la segunda agua salada, y en ambas las mismas condiciones en temperatura y presión, y los mismos volúmenes de agua. Observaremos sin embargo que en la primera se cambian más moléculas de agua a vapor que las correspondientes al agua salada en la cual parte de la energía del sistema retendrá los iones de sal en disolución. Si nosotros comprimiéramos el vapor en la segunda vasija hasta obtener la misma presión que sobre el agua dulce, podría condensarse consiguiendo así agua fresca. Entonces, quiere decir que necesitaremos una energía igual a la que une a las moléculas de agua con los iones de sal. En los Estados Unidos se considera que para 1,000 galones serán necesarios 2.8 Kwh (3.7 HP/h ó 95,000 B.T.U.), también se puede considerar 0.75 Kwh/m³.

Pero esto no es mas que teoría, porque en la práctica en realidad se necesita de diez a veinte y hasta más veces esta energía. Los métodos de destilación requieren entre 200 kWh a 2,800 kWh para 1,000 galones.

$$P_1 > P_2$$

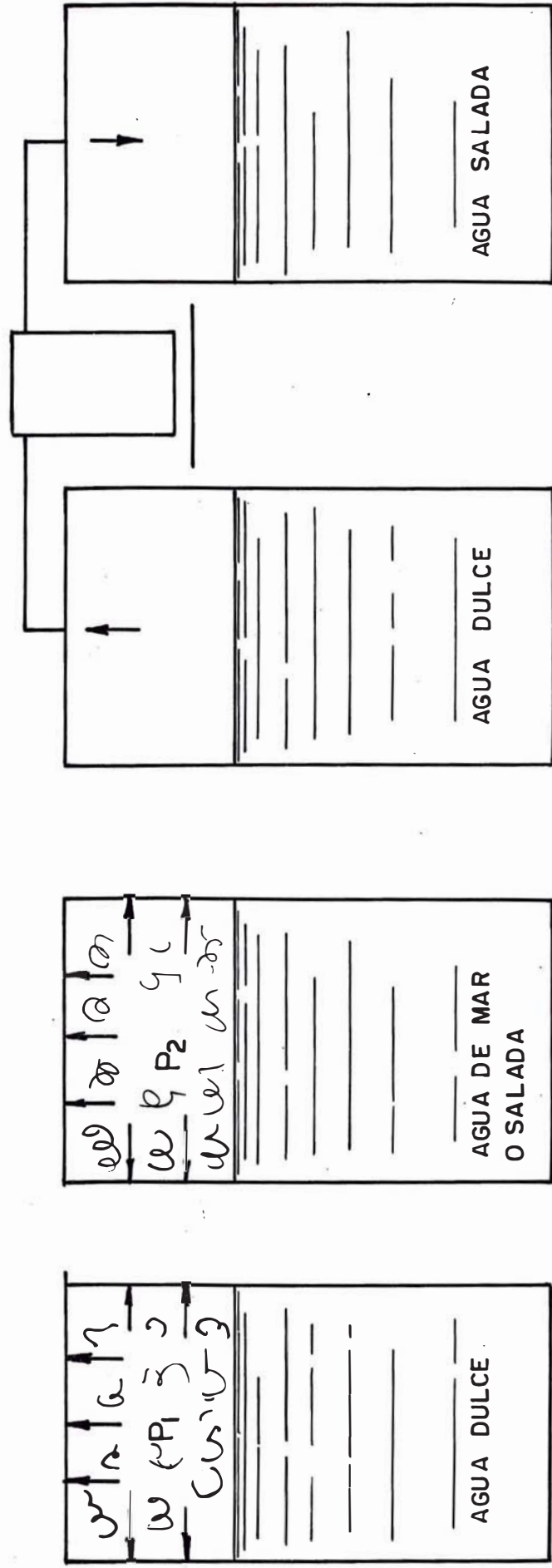


FIG. N° 1

El proceso de destilación tiene sin embargo un inconveniente que está siendo solucionado poco a poco en estos últimos años, y es el de las incrustaciones (escamas) que se obtienen por los depósitos durante la evaporación. Los elementos más persistentes en esto son: Carbonato de Calcio, Sulfato de Calcio e Hidróxido de Magnesio.

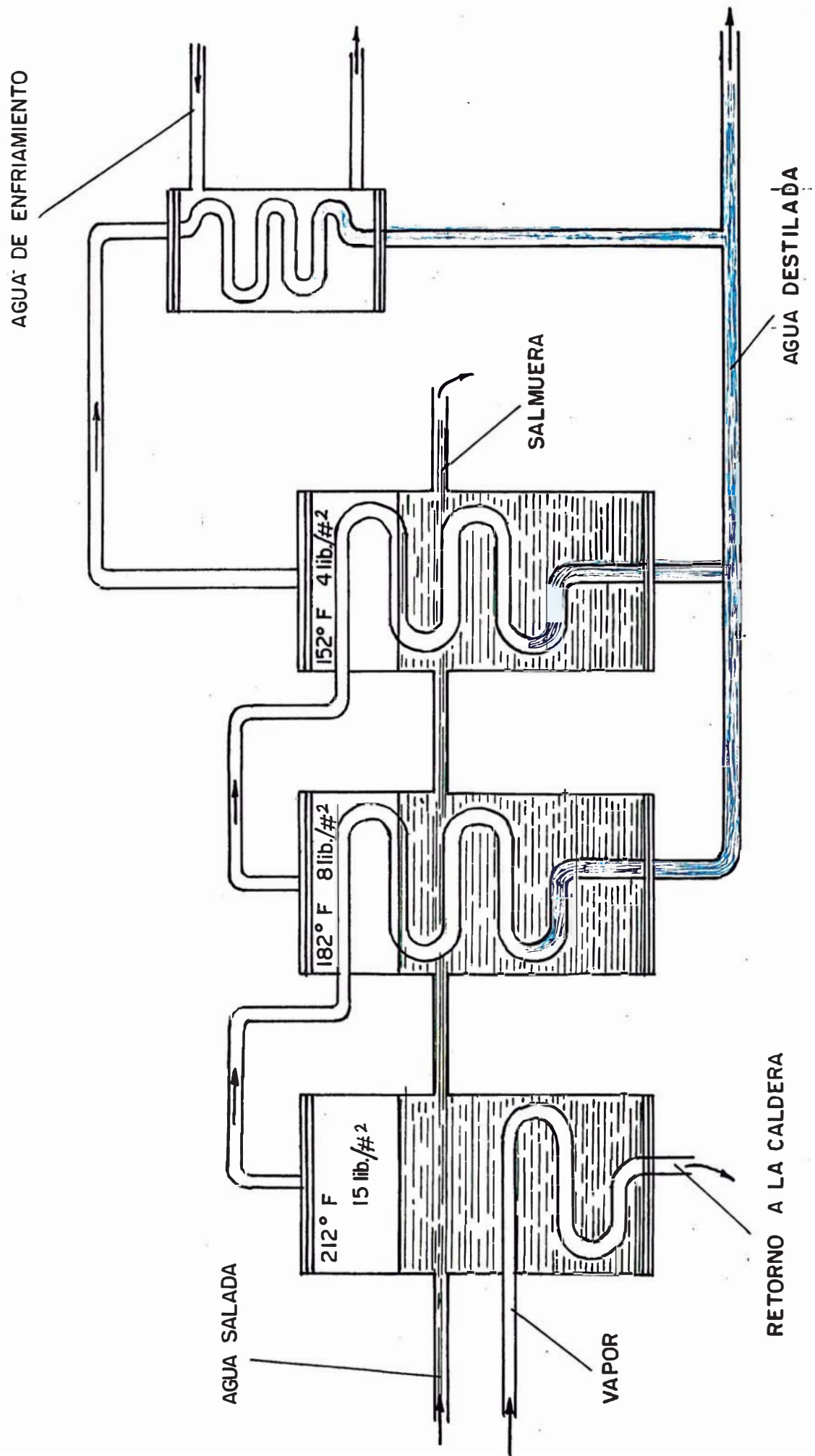
La Universidad de Michigan fué la encargada de hacer los estudios correspondientes para evitar las incrustaciones o escamas, ya que muchos procesos de destilación sobrepasaban los 160° F. dentro de los cuales comenzaba la precipitación, la cual al incrustarse evitaba la circulación.

Pasemos a explicar una evaporación de efectos múltiples.

En el laboratorio, considerando un evaporador simple, se hace hervir el agua de mar y el vapor pasa a través de un serpentín en donde es condensado una vez (se utiliza un serpentín enfriado por agua). Ahora bien, un evaporador de múltiples efectos será aquel en donde se consigue recapturar y recalentar el calor latente de la evaporación. Es decir, (ver figura 2), que el agua salada ingresa a un depósito donde se introduce un serpentín a través del cual pasa el vapor de una caldera (212°F.) y después de recorrer éste pasa a la caldera; el agua de mar se evapora y su vapor sale por la parte superior por un tubo y pasa por un segundo depósito en el cual atraviesa un serpentín que recalentará el agua de mar (182° F) que ha pasado del primero a éste; el serpentín continúa hasta el fondo, donde el vapor ha si

EVAPORADOR DE MULTIPLE EFECTO

FIG. N° 2



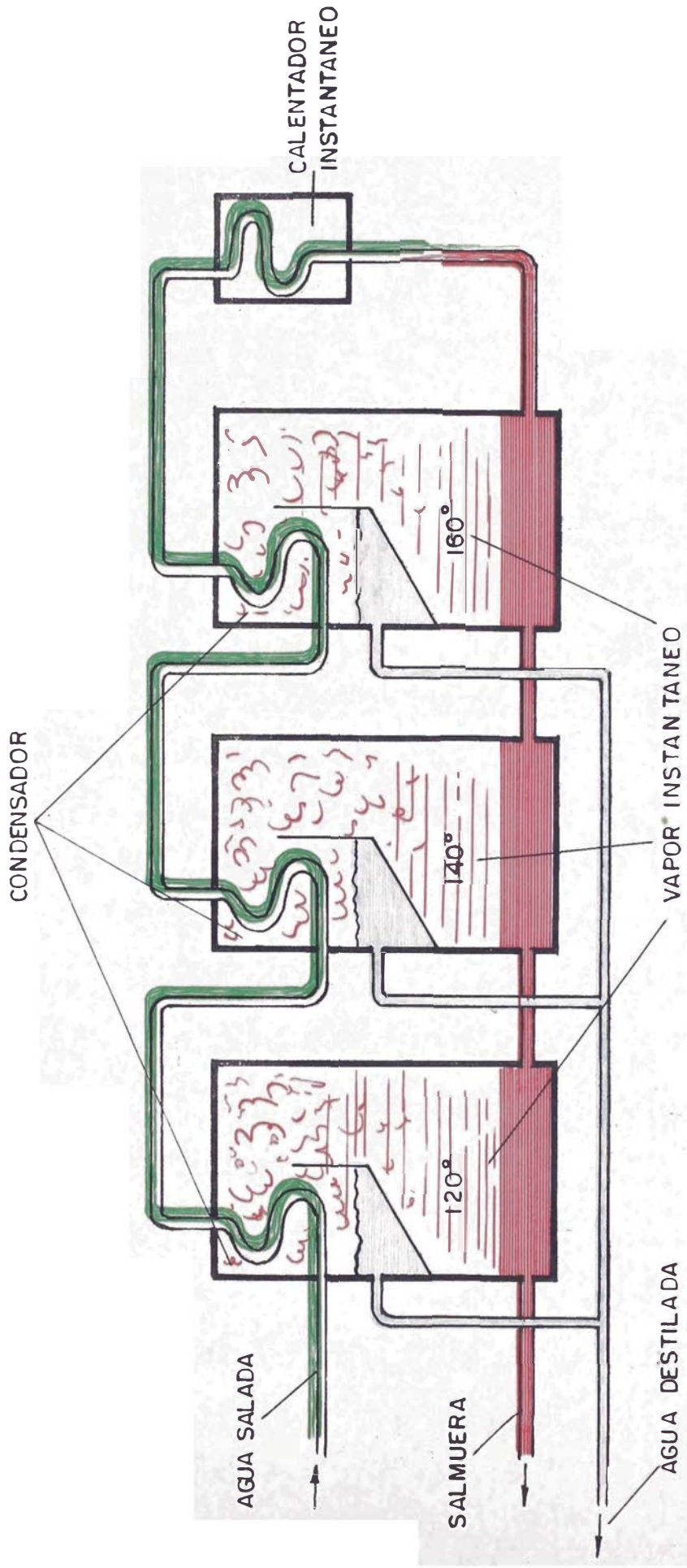
do condensado, y sigue como un fluido de agua dulce, en el segundo recipiente sigue el ciclo del vapor de agua de mar a un tercero, repitiéndose nuevamente y obteniéndose un agua dulce que se agrega a la anterior.

Podemos observar que todos estos efectos se realizan a temperatura y presión más bajas de recipiente a recipiente. Debe considerarse que el flujo de agua puede ser en uno u otro sentido a través de los varios efectos, pudiéndose tener dentro de los tubos, agua o vapor. El Dr. David Jenkins, Sub-director de la Oficina de Aguas Salinas, asegura que el costo por este método es directo al costo de combustible y equipo necesario para la reactualización de calor y del número de efectos.

La evaporación tipo Flash, o evaporación instantánea, es otro método de destilación (ver figura N° 3) en el cual se introduce el agua de mar a una presión y temperatura constante en una cámara a presión más baja. El agua al encontrar menor presión hierve a menor temperatura, evaporándose instantáneamente, y condensándose luego en un recipiente que se encuentra en la parte superior de esta cámara; puede sucederse este proceso en varias cámaras conectadas entre sí, como se observa en la figura. Este procedimiento se utiliza mucho en los barcos, pero en la Isla de Kuwait se hizo una aplicación terrestre (1958): la instalación consta de cuatro evaporadores instantáneos que producen 2,5 mgd. Sin embargo la Oficina de Aguas Salinas espera que por este método -al igual que el de múltiples efectos, combinado con la generación de energía- den resultados en cuanto

EVAPORADOR INSTANTANEO (FLASH)

FIG. N° 3



al costo de agua fresca, bastante halagadores.

Continuaremos en las páginas siguientes con la explicación de los evaporadores fabricados por la Cleaver-Brooks y la Maxim Silender Company.

METODO DE LA CLEAVER-BROOKS

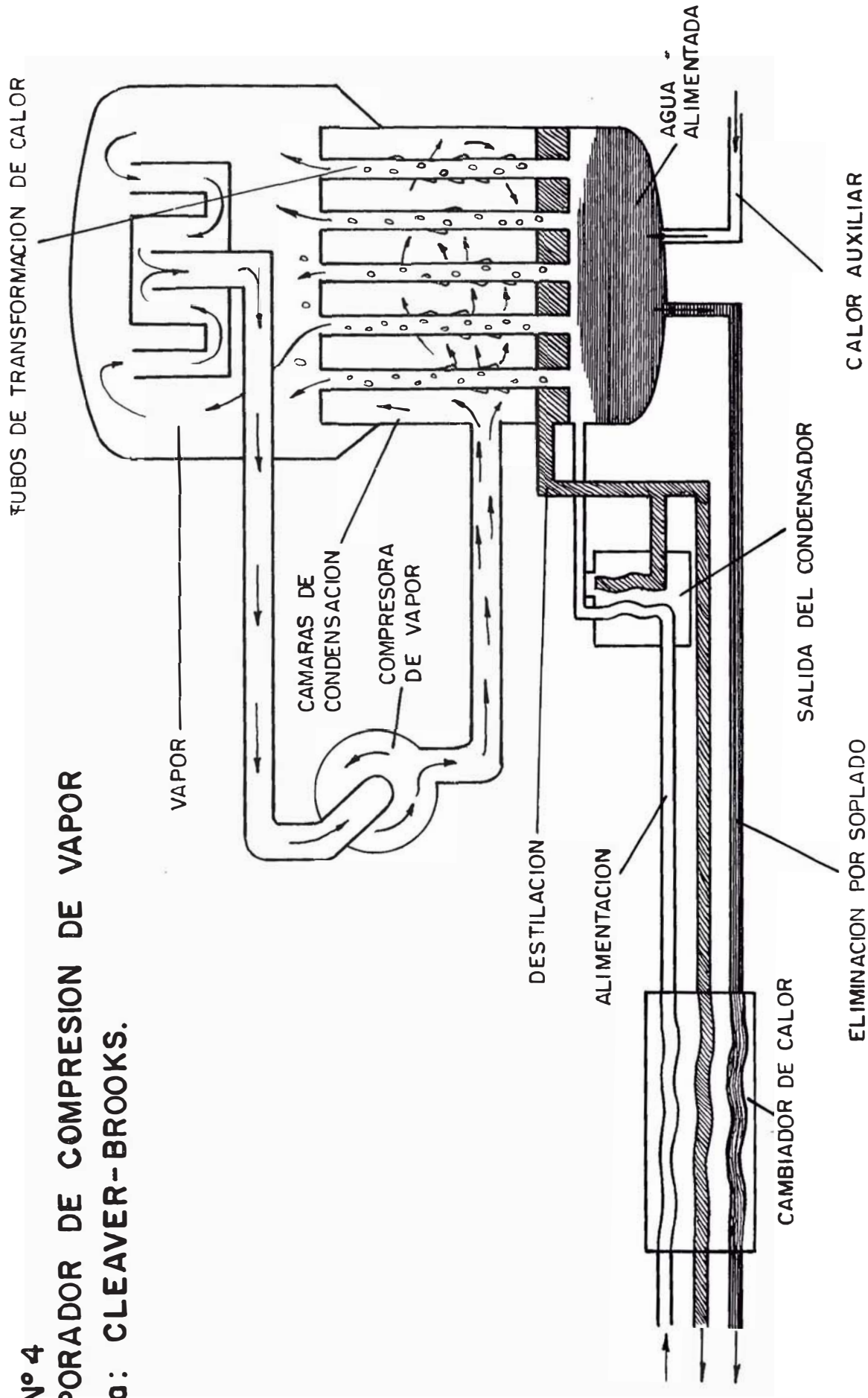
EVAPORADOR TIPO COMPRESION-VAPOR

El proceso de la Cleaver-Brooks (ver figura N° 4 del evaporador por compresión de vapor, con capacidad de 50,000 GD.) en su forma más simple, es introducir el agua de alimentación -que en este caso puede ser salina o agua de mar- a un depósito en el cual se hierve por medio de un traspaso de calor, esto puede realizarse por ejemplo en una caldera; el vapor asciende por tubos largos denominados cambiadores o transformadores de calor y desde allí pasa a la compresora de vapor, subiendo su presión a mas o menos 3 lib/pulg² y la temperatura alrededor de 9°F.; el vapor que se condensa se reúne en la parte exterior desde donde se manda a un intercambiador de calor, del cual sale como agua destilada. La energía se utiliza para el funcionamiento del compresor y otra pequeña parte del calor para compensar las pérdidas por radiación. En algo parecido a esto está basado el destilador de Hickman.

La Cleaver-Brooks asegura que para el evaporador del esquema, se pueden obtener 1,000 gls. de agua fresca desde el agua de mar entre \$ 0.51 a \$ 1.51 dependiendo del tamaño de la unidad y tipo de compresión que se desea.

Actualmente la Cleaver-Brooks se ha especializado en la fabricación de destiladores de tipos siguientes:

FIG. Nº 4
EVAPORADOR DE COMPRESION DE VAPOR
Marca: CLEAVER-BROOKS.



- a) Destiladores Flash;
- b) " de Triple Efecto; y
- c) " de Compresión de Vapor.

También ha logrado fabricar evaporadores de compresión de vapor portátiles que producen 85 gls/h. con los cuales se obtiene 1,000 galones de agua por 7.5 galones de combustible.

La ventaja de los evaporadores o destiladores es que con ellos verdaderamente se puede convertir el agua de mar en dulce; no sucede así con la electrodiálisis con la cual sólo puede desmineralizarse agua bajo ciertas condiciones de concentración de sólidos disueltos.

METODO DE "THE MAXIM SILENDER COMPANY"

La compañía Maxim ha fabricado desde hace años evaporadores marinos y tiene gran experiencia al respecto; actualmente se dedica también a la construcción de grandes plantas terrestres para ciudades que tienen problemas al respecto, o también para fábricas que adolecen de abastecimientos de aguas puras para su industria.

Lord Bacon, en 1627, decía que era posible obtener agua fresca por medio de un calentamiento del agua de mar, destilando luego el vapor que se obtenía. Esta teoría trajo a luz otra, como la de Benjamín Franklin (1757-58), sobre "frío producido por evaporación": estas teorías fueron las bases de los presentes trabajos.

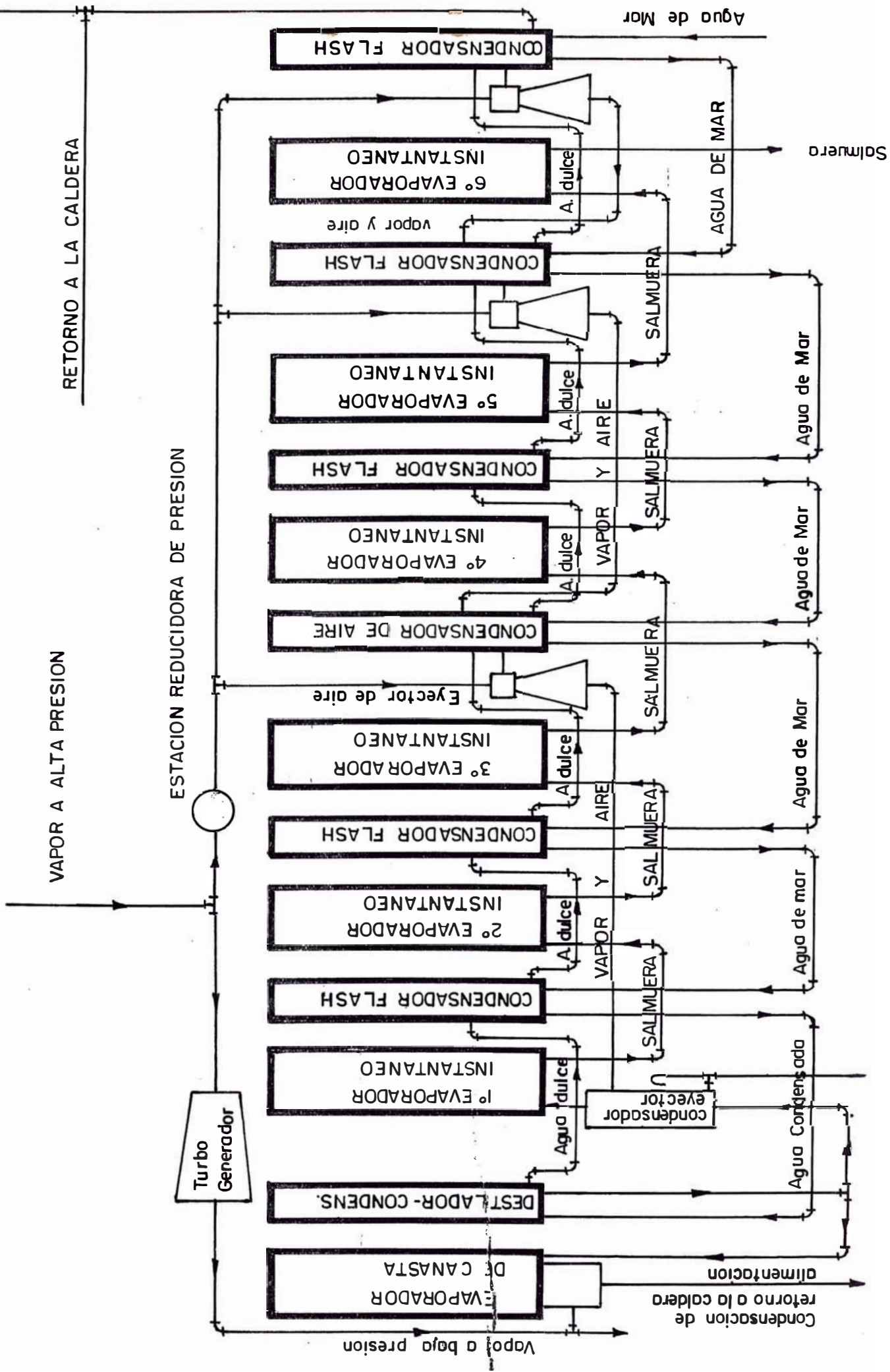
Sin embargo, para el uso marino fué diseñado un evaporador en el informe sobre "La conversión de agua de mar en fresca" por Thomas Jefferson en 1790. El diseño es algo similar a lo que se hace actualmente.

La Maxim fabrica seis tipos de evaporadores:

- a.- Evaporadores de baja presión.
- b.- Evaporadores de recuperación de calor.
- c.- Evaporadores instantáneos (Flash).
- d.- Evaporadores de Jet-Compresión de Vapor.
- e.- Evaporadores de compresión de vapor.
- f.- Evaporadores instantáneos y de surtidores de canasta.

PLANTA PARA IMGD. Y 5,000 KWS.

FIG. N° 5



La Maxim muestra en un diagrama la concepción de una planta de poder, productora de energía eléctrica y de agua fresca (4,000 toneladas al día y 5,000 Kws), en la cual se realiza la siguiente operación:

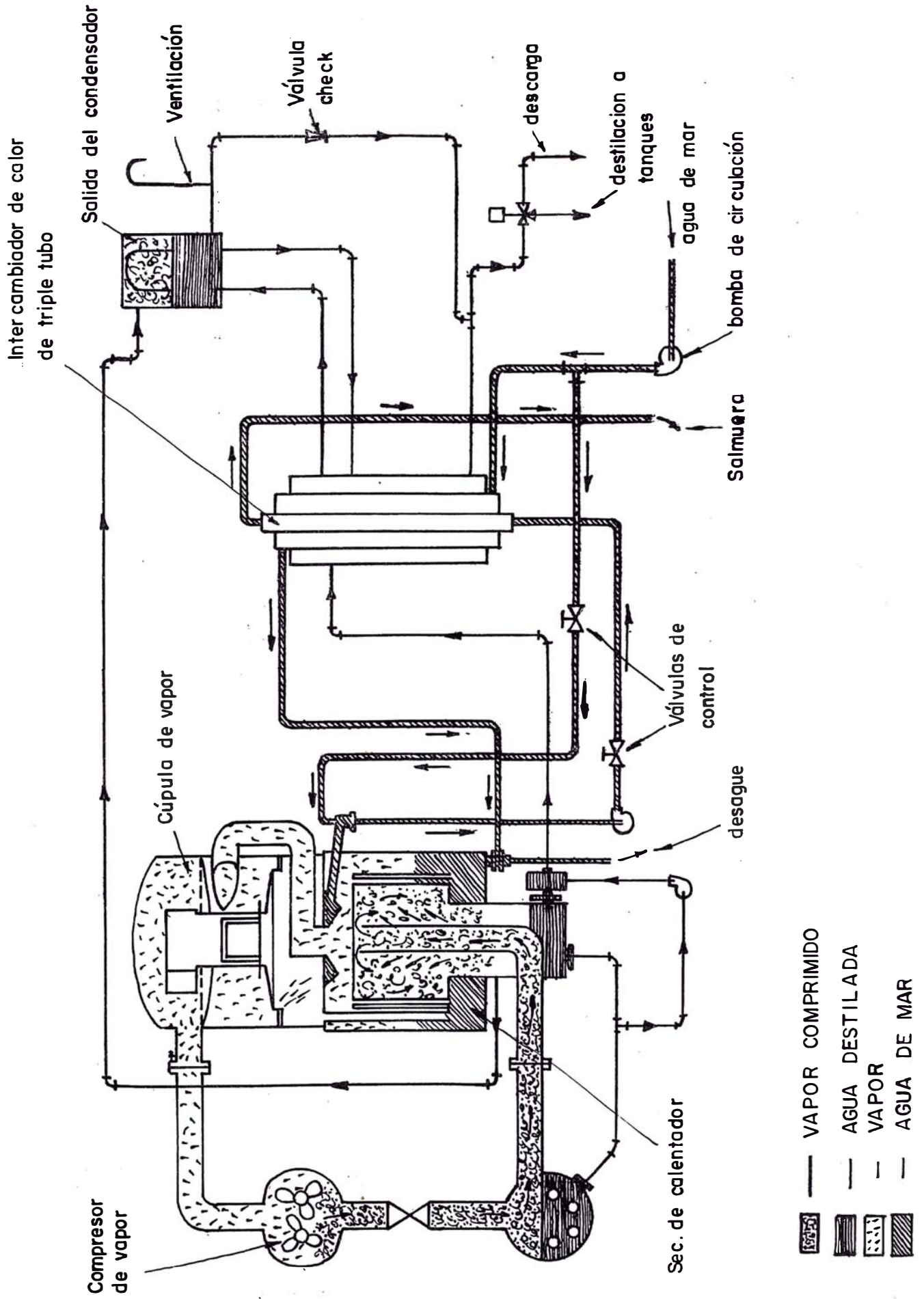
El agua ingresa a un condensador flash (ver esquema N° 5), luego a un segundo condensador, después a un tercero, así sucesivamente hasta el sexto, del cual pasa a un destilador-condensador; de éste último sale una tubería que se desdobla, parte a un condensador eyector y la otra a un evaporador tipo canasta al cual llega el vapor del turbo-generador; del evaporador hay una salida al primer evaporador flash al cual también llega un tubo del condensador eyector, pasa luego a un segundo, repitiéndose la operación; en el sexto evaporador flash sale el agua destilada a los tanques de almacenamiento.

El evaporador por compresión de vapor de la Maxim difiere algo del fabricado por Cleaver-Brooks, pues utiliza un evaporador diferente a aquel; además usa un calentador eléctrico, pero sigue el mismo principio (ver figura N° 6).

El agua de mar es bombeada a un cambiador o intercambiador de calor de triple tubo, después del cual continúa por la parte inferior del evaporador en el que es evaporada; la evaporación asciende hasta la cúpula de vapor y pasa al compresor de vapor, de éste, y pasando por una válvula de vapor, llega al calentador eléctrico y continúa hasta la sección de vapor en donde se condensa; parte de esta condensación pasa de nuevo al calentador eléctrico y la otra parte sigue al intercambiador de calor,

EVAPORADOR 'MAXIM' DE COMPRESION DE VAPOR

FIG. N° 6



desde el que pasa al ventilador del condensador y luego retorna una parte al cambiador de calor, del cual sale y se reúne con la que continúa desde el ventilador del condensador, pasando a los tanques de almacenamiento como agua destilada.

El evaporador de Jet-Compresión de Vapor, fabricado por la Maxim según asegura ella, dá agua hasta de 0.5 ppm. de impurezas.

No dá datos sobre los costos pero deben considerarse aproximados a los de la Cleaver-Brooks.

PROCESOS SOLARES

INTRODUCCION

No podríamos avanzar sin que diésemos a conocer los avances que la ciencia ha realizado para la explotación de la Energía Solar.

Se sabe que el Sol es la Estrella del sistema planetario al cual estamos sujetos y, por lo tanto, es un foco de energía que tenemos a nuestra disposición, pudiendo realizar todos los esfuerzos posibles para explotarla al máximo, ya que es un centro de energía inacabable, por lo menos hasta varios cientos de miles de años.

Ya el hombre se ha interesado en esta fuente de energía, como lo demuestran los estudios realizados por los rusos, franceses, ingleses y norteamericanos en este campo, así como también de otros países. Uno de los últimos satélites Vanguard tenía un transistor de batería solar que ha transmitido sin interrupción durante toda su trayectoria una gran cantidad de datos importantísimos desde Marzo de 1958. Por este transistor ha quedado demostrado que la tierra se curva ligeramente en el hemisferio Austral y se encorva hacia el Polo Norte. Esto demuestra que la tierra no tiene un núcleo plástico, como se creía antiguamente, sino más bien poco plástico.

Otra forma en que se utiliza la energía solar es en la calefacción de las casas. Actualmente cualesquiera de los siste-

mas que se están ensayando en los laboratorios dá aproximadamente la mitad de la energía calorífica para la mayor parte de los Estados Unidos.

Uno de los sistemas utiliza colectores de aguas, en los cuales se calienta el agua o el aire a 45° C. La luz solar atraviesa una película de "Mylar W" calentando una superficie ennegrecida (que, como se sabe por Física, conserva mayor tiempo el calor). El calor es aprisionado o atrapado por otra película y un aislante-guata, tal como el "dracon"; el agua y el aire circularán dentro del colector antes nombrado y, después que se han calentado, seguirán a través de una tubería, bien a un tanque donde se almacenan, o bien a los caloríferos de las habitaciones. Puede agregarse al sistema una pequeña unidad de calefacción para calentar más la casa en los días más fríos (invierno).

Otro sistema de calefacción es utilizando una bomba de calor, parecida a las bombas refrigerantes, que en realidad trabaja como un refrigerante pero al revés; utiliza el refrigerante "freón" para extraer el calor del tanque de almacenamiento, cuando la temperatura se encuentre por debajo de los 45°C., con este sistema no se necesita de un calentador que gaste combustible.

Por los estudios realizados en los Estados Unidos se ha llegado a la conclusión que en una casa cae más energía solar de la que sus habitantes imaginan y puedan aprovechar. Por ejemplo, se demostró que una casa en la cual se tiene 110 m² de techo puede calentarse con 16.5 litros de aceite combustible en el día

cuando la temperatura exterior sea de 2°C., manteniéndose una temperatura interior de 25°C. Se ha demostrado igualmente que sobre una superficie de 4.5 x 6 metros recae la energía suficiente de calefacción, día por medio. Pero, indudablemente, los sistemas son actualmente caros; mas, si se tiene en cuenta los gastos de combustible corriente que se utiliza en los sistemas usuales, la economía de ellos justifica el costo extra en muchos lugares.

Otra forma de aprovechar la energía solar es convertirla en corriente eléctrica, por medio de aparatos denominados células solares de silicio, de calidad Solar Du-pont. Pero este método es caro actualmente. Sin embargo, produciendo vapor para una turbina generador puede obtenerse corriente por dos métodos:

A.- Uno de ellos consiste en colectores planos en los cuales se produce vapor a presiones de 7 Kgs./cm², y

B.- El otro utiliza reflectores para concentración de energía solar iguales a los utilizados en Francia para calentar hornos, y también en Inglaterra. Estos reflectores de energía solar a los cuales nos referimos, se utilizan también, en modelos similares, en algunas casas de los Estados Unidos para calentar los alimentos (cocinas).

Los hornos de temperatura elevada, como los utilizados actualmente, usan de reflectores parabólicos: éstos reciben la luz solar en espejos denominados "Helióstatos", que giran siguiendo el movimiento del Sol. Los helióstatos pequeños dan temperatu-

ras de 2,760°C. y los grandes exceden los 4,425°C.

Hablemos en las páginas siguientes del propósito de nuestra tesis, es decir, de la utilización del Sol o en otras palabras, de la Energía Solar, para la desmineralización del agua de mar o de gusto salobre. No habíamos entrado de lleno a este tema porque, como manifestamos anteriormente, era necesario presentar un panorama pequeño de lo que se puede realizar por medio de la explotación de ésta energía.

UTILIZACION DE PLÁSTICOS EN DESTILACION SOLAR

El Dr. Johan Bjorksten, en unión del Dr. R. P. Lappala como principal investigador, iniciaron en 1954 los trabajos para la utilización de plásticos en la captación de la energía solar y obtener una calidad de ellos lo suficientemente buena para su uso en la conversión del agua de mar por medio de la evaporación solar. Estos estudios se realizaron por intermedio de la Bjorksten Research Laboratories Inc. en Madison, Wisconsin, al Sur de Florida.

Un tipo denominado "Standard" de destiladora fué usado para evaluar los films de material plástico; cinco diseños se usaron para realizar los estudios y tratar a la vez de obtener uno que diera los mejores resultados en este método de energía solar. Una destiladora tubular contruída fué luego abandonada por que goteaba mucho, volviendo al espacio de evaporación el agua que se destilaba. Varios experimentos hechos con destiladores triangulares demostraron que estos tipos presentaban dificultades. Durante estas investigaciones se encontró que por la utilización de destiladores de plástico podían obtenerse evaporadores a menos de 60°C. para conseguir condensación.

Después de una valuación de los diseños previos -unos siete diseños de destiladores con un tipo de envoltura suspendida- fué por fin diseñado uno último. Este tiene las siguientes características:

- Alto grado de desmineralización de agua de mar.
- Portable.
- Buena resistencia al viento.
- Fácil instalación, reparación o reemplazo.

Este destilador consiste esencialmente de una envoltura separada, pero alrededor de la cual hay una superficie absorbente evaporadora. Está rodeada de canales separados por los cuales cae separadamente el exceso de agua salina y de agua fresca. Estos destiladores son largos y sus medidas son: 31 pulgadas x 9 pies, o 23.3 pies cuadrados (aproximadamente 0.79 x 2.745 mts. = 2.24 mts²).

Paños teñidos de negro fueron utilizados en estas instalaciones. Sin embargo, los nuevos estudios y desarrollos dan a conocer un nuevo descubrimiento en el cual el color es un pigmento finamente dividido que en su estructura fué parte de una fibra sintética, la cual es convertida en hilo y luego en tela. Esta tela es una excelente superficie absorbente y evaporadora que dá buenos resultados en la explotación de la energía solar.

Los puntos (Yields) que se han obtenido en estas investigaciones indican que, durante el verano de 1955, en galones por 10 pies cuadrados a 2,150 B.T.U. por día, se tenía: para los destiladores plásticos 1.23 galones, y para los destiladores de vidrio 1.24 galones; además, sobre la base de un acre de superficie de evaporación se podría obtener arriba de los 5,000 galones de agua fresca.

La evaluación de los plásticos trae como consecuencia una mejor investigación de los destiladores solares. Los resultados han sido los siguientes:

- Basados al costo estimado, los plásticos rígidos, por ejemplo Lucite y Plexiglass, son materiales de precios prohibitivos en su utilización. En cuanto a los materiales semi-rígidos fueron abandonados por su bajo rendimiento. Por esta razón sólo los films de material plástico fueron probados durante el resto del programa.

- Para evitar la condensación del tipo de goteo en la superficie de condensación de los films plásticos, se han ideado pantallas de diversos tipos, dos de estas pantallas cuyos materiales prometen mucho han sido hallados; uno es un acetato polivinílico parcialmente hidrolizado y el otro un alcohol polivinyl el cual sólo fué parcialmente soluble en el agua.

- Un destilador de plástico de energía solar es ideal cuando tiene alta resistencia, tanto a la humedad como a los cambios de temperatura y de ambiente, al igual que un buen transmisor de energía radiante.

Los materiales plásticos siguen en la actualidad siendo estudiados ya que prometen buenos resultados, como los dados a conocer por la Dupont -a los cuales nos referiremos en páginas siguientes-, pero llegamos a la conclusión mencionada anteriormente: que sólo podrán explotarse por ahora para la obtención de cantidades ínfimas de agua, suficientes para atender las necesi

dades de un hogar, pero no para explotación industrial o de abastecimiento.

METODO DE LA DU-PONT

En Florida, en una rada cercana a Daytona Beach, los ingenieros han utilizado la energía solar para obtención de agua potable directamente del agua de mar. Existen tres unidades completas en servicio, las cuales están dando información de importancia comercial. Ya en el capítulo de Historia nos hemos referido a una planta de energía solar existente en Chile y que fue construída en 1872.

Dos de estos sistemas están construídos con materiales de la Du-pont (plásticos) y están dando los resultados apetecidos por sus constructores. El agua que se obtiene hasta la fecha es pura y de sabor agradable.

En algunos sitios, como hemos manifestado en la Introducción, sobre todo en los Estados Unidos, la escasez de agua hizo que los técnicos aconsejaran la excavación más profunda de los pozos, ya que se debía a la baja de la napa acuífera; esto trajo como consecuencia que se obtuviera agua de gusto salobre o salino que fué rechazada por los habitantes de dichos lugares. Por este motivo existen algunas partes de Florida y del Sudoeste en las cuales los habitantes compran el agua embotellada a razón de 1/2 centavo el litro, o más, según el país (Estado). La Du-pont asegura que su método da un agua a menor costo.

Según los datos obtenidos con los sistemas probados, se están modificando los diseños y perfeccionando los métodos de tal manera que resulten más económicos. Se deberá de proveer de depósitos los lugares o ciudades en los cuales el agua escasea o es de mala calidad. Se sabe que actualmente, en el Norte de Africa, algunos habitantes, sin esperar los resultados de los estudios seguidos por varios laboratorios, están utilizando la energía solar para obtención de agua dulce y satisfacer sus necesidades de agua potable cada día.

Como Uds. han podido apreciar, la obtención del agua dulce por utilización de la energía que escapa del Sol y llega a la Tierra, no es sino una de las tantas aplicaciones que se pueden hacer de ella; es necesario tener un conocimiento de los requerimientos de energía que se tendrá en el futuro, es decir de nuevas energías, pues ya los combustibles conocidos tienden a desaparecer debido al agotamiento de sus depósitos, y la energía solar es una energía altamente utilizable e inacabable. Igualmente, los franceses tienen una idea de utilización de energía de los mares, con construcción de centrales de fuerza eléctrica y de conversión de agua de mar por la utilización de esta misma energía. Otra razón de uso de la energía solar es la aparición en el mercado de nuevos plásticos que ayudan a captar la energía solar y almacenarla; es necesario pues aprovechar de estas fuentes de captación de conservación.

La población de la Tierra es actualmente de 2,300 millones de personas y se calcula para los 50 años futuros que dicha po-

blación ascenderá a la cifra fantástica de 6,000 millones de habitantes. Esta cifra trae la necesidad de utilizar las nuevas fuentes de energía al máximo para satisfacer las necesidades de esta gran población, y esto traería también un gran consumo de energía. En los Estados Unidos, solamente, se calcula que para esa época será usado un potencial 16 veces mayor que la energía usada actualmente.

Por otro lado debemos de tener en cuenta que la escasez de combustible corriente, consumido hoy en día, traería consigo el aumento del costo de vida y, sobre todo, de fuerza necesaria a la industria; por ello debemos de construir maquinarias que sean cada día más eficaces y eficientes, y que su costo de manteni--miento no sea alto, al igual que su costo de construcción, antes de llegar al límite de consumo y de existencia de los combusti--bles actuales.

El Sol emite a la Tierra la energía suficiente, en una hora, para satisfacer el consumo de la población terrestre en un año; esta energía es gratis, la podemos obtener en cualesquier momento y es inagotable.

Pero en realidad el éxito dependerá de los materiales de que disponemos para la obtención y conservación de esta energía y de la maquinaria utilizable. La energía solar es inmensa, pero desgraciadamente es poca la que incide en un metro cuadrado de superficie: es apenas de 405 calorías-gramo/cm² al día, en la mayor parte de los Estados Unidos; esto nos hace pensar que será necesario usar materiales durables, es decir, que resistan

los embates y los cambios de ambientes, que sean fácilmente montables, y de bajo costo. Las dos primeras cualidades o requisitos están bastante avanzados y puede decirse que ya se dispone de esta clase de materiales, pero en cuanto al costo se sabe únicamente que baja día a día.

En los destiladores de Florida, a los cuales nos referimos anteriormente, se han utilizado diez productos o materiales diferentes de la Fábrica Du-pont; los alambiques están formados de un fondo negro y tienen una cubierta de plástico transparente, el agua se evapora en el fondo y se condensa en la cubierta o campana, recogién dose en canales que tiene en los costados. Se espera que se produzca 1,000 litros de agua al día con un alambique que tenga una superficie de 12 x 18 metros.

Ahora nos cabe preguntar: ¿Cómo es que se obtiene el agua dulce desde el agua de mar por este método?

La Campana está formada por dos películas fabricadas por la Du-pont, que son las del tipo "Mylar W" y la denominada PVF. "Teslar" (antiguamente se llamaba película tipo R), la campana o las películas están afianzadas a la artesa por medio de tiras de neopreno adheridas con el producto UI, que es un compuesto para calafatear fabricado a base de poliuretano, nuevo producto en fase de experimento. Las artesas son hechas con una resina de polietileno "Alathon" que es de pigmento negro. Es necesario absorber el calor que incide en el fondo para poder acelerar la evaporación y que la obtención sea más eficiente; por esto está formado por una guata de fibra "Orlon" (acrílica) teñida en so-

lución de negro, y que flota en la artesa.

Otro tipo de "Alathon" se emplea en las tuberías y las juntas son hechas por una resina de Nylon "Zytel". Por último, la sílice coloidal "Ludox", que se encuentra dentro de la Campana, hace posible que la misma esté siempre mojada para que pueda escurrir el agua dulce fácilmente. Otros productos adhesivos de la misma fábrica son utilizados para unir las piezas de películas.

Es necesario el mantener los terrenos adyacentes o colindantes libres de vegetación, y esto se obtiene con el producto "Telvar".

Todos estos productos y los informes de la experimentación que se ha realizado, al igual que los diseños, han sido suministrados a la Oficina de Aguas Salinas del Departamento del Interior de los Estados Unidos, que es la que dirige estos estudios, junto con los informes del Batelle Memorial Institute que se hizo cargo de la construcción.

METODO DE LA DRA. MARIA TELKES

Una de las autoridades mas destacada en el campo de la explotación de la energía solar para la obtención de agua fresca, partiendo del agua de mar, es la Dra. María Telkes de la Universidad de Nueva York, Directora de los Laboratorios de Energía Solar de dicha institución.

Los estudios de la Dra. Telkes comenzaron en la segunda guerra mundial, durante la cual ideó un alambique con el que se obtenía un litro de agua destilada al día. Este alambique se distribuyó en el equipo de emergencia de los aviadores y salvó las vidas de aquellos que se vieron forzados a descender en el mar.

Ella continuó en sus estudios y, posteriormente, ideó un nuevo tipo, diferente del primitivo, pero con usos más amplios desde el momento que es para uso de la población. Este destilador de tipo solar consta de una bandeja de metro y medio de lado en la cual hay una canaleta de un nivel más alto (como muestra la figura) que el nivel al cual se encuentra el agua salobre o de mar; en un lado hay una lámina de vidrio inclinada y en el otro una lámina de vidrio perpendicular a la bandeja; el vidrio inclinado descansa sobre la canaleta y en el vidrio vertical por sus extremos. Los rayos solares caen sobre la superficie exterior del plano inclinado y el calor ganado por la bandeja que está con una superficie negra evapora el agua, la cual se condensa y corre por la superficie inclinada hasta llegar a la canaleta recolectora a la que nos referimos líneas atrás. En un día des-

pejado y cálido se pueden obtener de tres a cuatro litros de agua fresca por este método, y la mitad en días nublados.

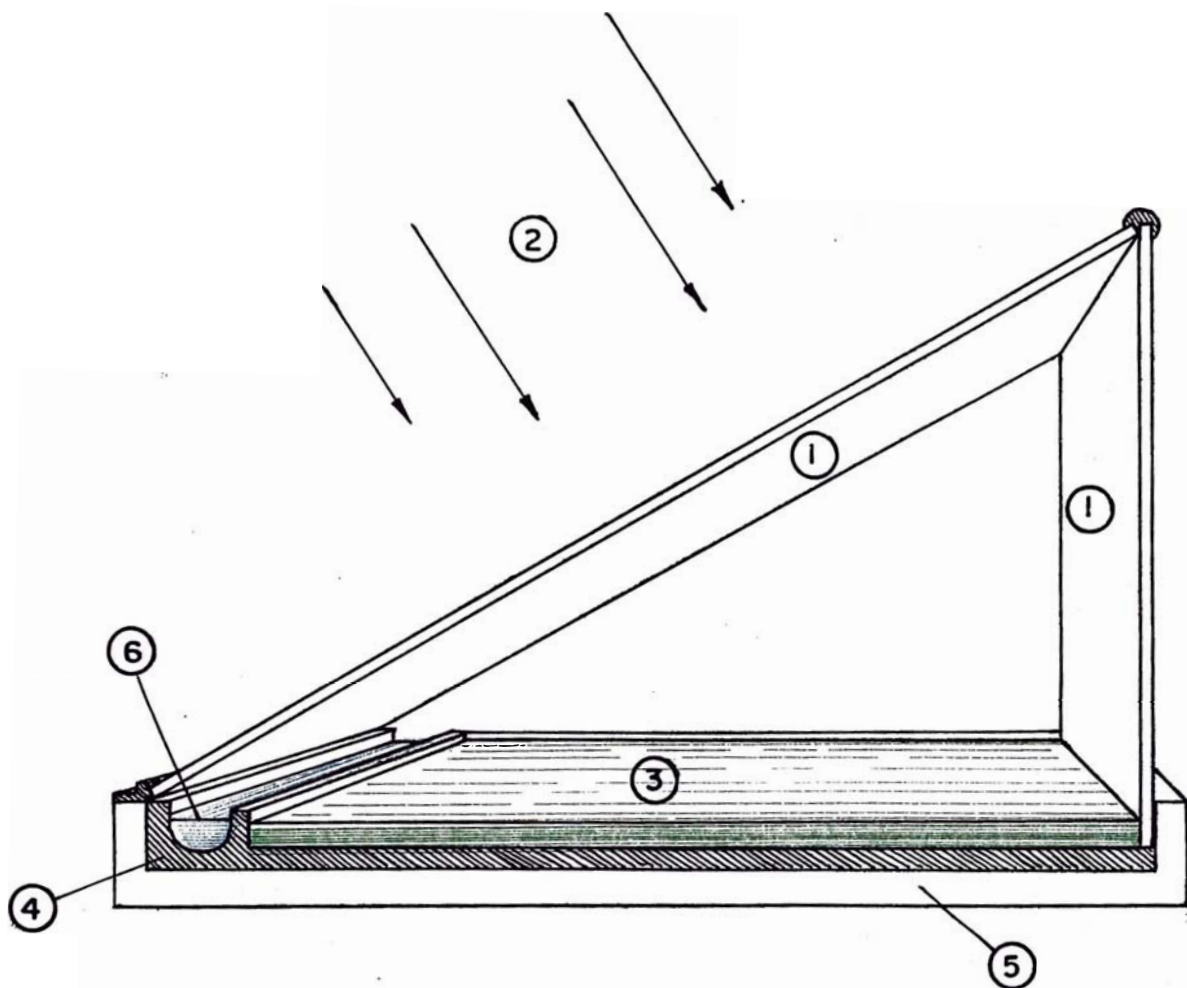
En California, un alambique basado en este método, de 93 metros de superficie, trabajando tres años ininterrumpidamente, produjo 380 litros por día.

Otro evaporador de tipo solar es el denominado de diez etapas, también de la Dra. María Telkes, que consta de una serie de capas de telas negras en las cuales se produce sucesivamente la evaporación y la condensación; el sistema funciona de la siguiente manera:

La primera capa al ser mojada por el agua de mar la evapora, pues está expuesta a la absorción del calor, pasa a la siguiente capa en forma de vapor, condensándose en ella, pero como en este fenómeno se escapa calor que evapora cierta cantidad de agua que se condensa en la siguiente capa, siguiendo en esa forma sucesivamente. Según la Dra. María Telkes, ella asegura que este sistema aumenta en cinco veces el rendimiento, pero desgraciadamente la fabricación de los aparatos es de costo alto, por el momento.

El método, o los métodos, de la Dra. María Telkes están siendo utilizados en varias partes del mundo, por ejemplo en Argelia donde se encuentran instalados 120 alambiques de este tipo para purificar agua subterránea de los oasis del Sahara. Sir Frank Beaurepaire se interesó también en el sistema de la Dra. María Telkes; él era propietario de una estación de reparacio--

METODO DE LA DRA. MARIA TELKES



- ① VIDRIOS
- ② RAYOS SOLARES
- ③ AGUA SALDRE
- ④ MATERIAL ESPECIAL PARA ABSORVER CALOR
- ⑤ MATERIAL AISLANTE
- ⑥ AGUA DULCE

nes de automóviles en el cual construyó un alambique con una bandeja de 4.5 metros cuadrados, que producía de 25 a 35 litros diarios, los que utilizaba en los acumuladores.

Debe tenerse en cuenta las incrustaciones y las acumulaciones de adherencias blancuzcas en el fondo de las cubetas. Esto trae como consecuencia que el proceso de evaporación se retarde, pero este problema hasta la fecha no ha sido solucionado. Por otro lado, los hombres de ciencia no dejan de estudiar nuevos métodos para solucionar este problema.

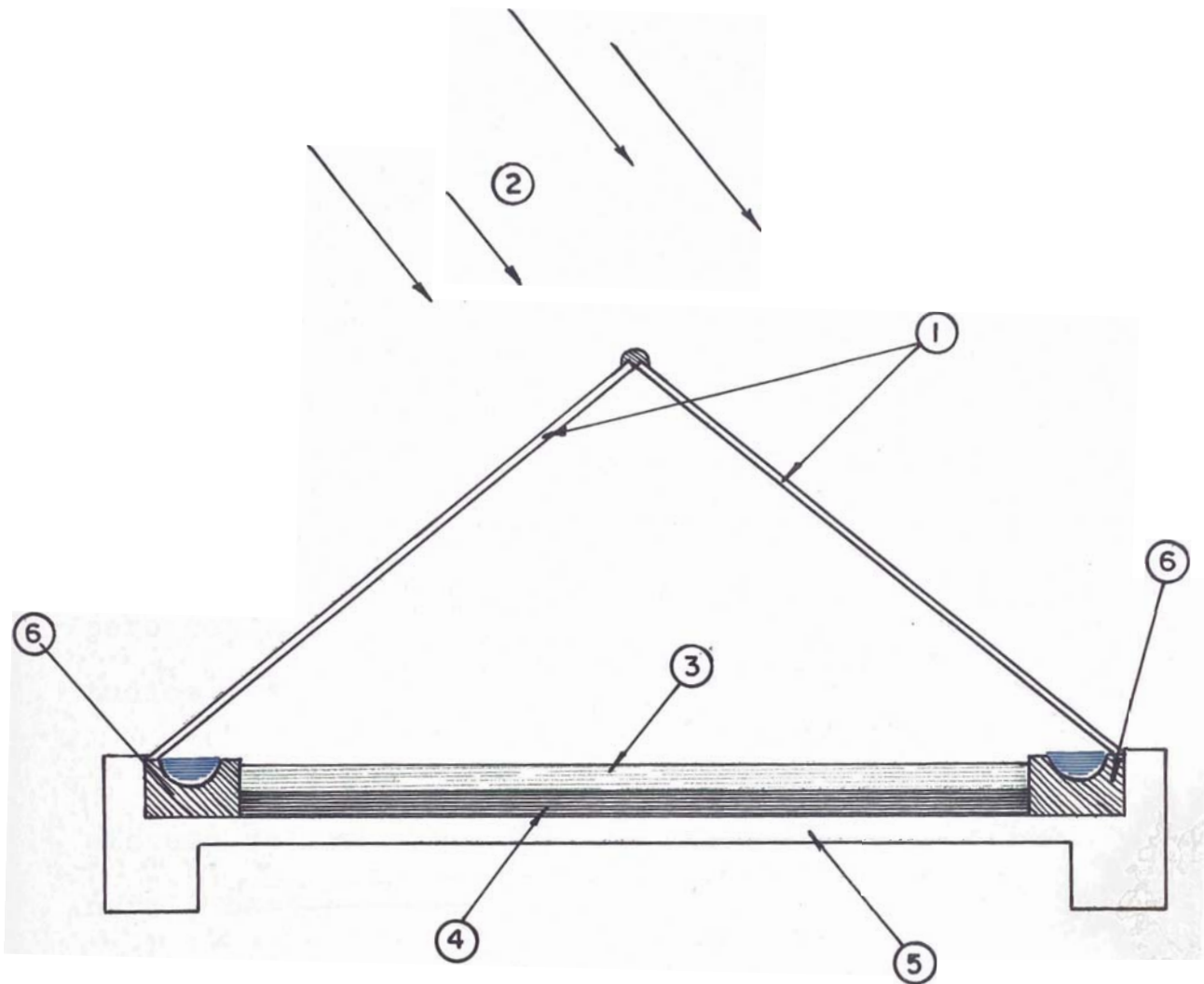
METODO DEL DOCTOR LOFF

Refiriéndonos al método de la Dra. María Telkes, en páginas anteriores, hablamos que uno de los más simples métodos es el de una bandeja de poco fondo cubierta por dos paredes de vidrio , que en el último informe, cuyo nombre es "Water Resources Activities in the United States", dado en Washington (1960), aparece con ambas inclinadas (ver figura).

Los hombres de ciencia están preocupados por mejorar la eficiencia de este alambique solar; ya hemos visto también que u no de ellos era la Dra. Telkes; existe otro hombre de ciencia también en estos estudios y es el Dr. O. G. Loff, quien ha construído uno cuya base es un piso o suelo, de tipo techo, economizándose así parte del armazón ya que él considera que el suelo funcionará como un absorbente y acumulador del calor solar, de tal manera que será un alambique de funcionamiento intermitente. El mismo Dr. Loff estaba construyendo en 1959 un alambique en Daytona, de 15 x 15 metros de lado, con el cual cree podrá obtener 1,140 litros de agua pura al día.

Respecto a este alambique, los contratistas predicen que el actual costo de materiales para el concreto y vidrio no excederá 50 cts. de dólar por pie cuadrado de área. Sustituyendo cualesquier otro material usado por cemento (concreto) puede permitirse una reducción en el precio. Sin embargo, deberá agregarse a esto el costo de instalación de tubería, bombas, tanques y otros equipos auxiliares; por otro lado también deberá conside

METODO DEL DR. GEORGE LOFF



- ① VIDRIOS
- ② RAYOS SOLARES
- ③ AGUA SALOBRE O SALINA
- ④ MATERIAL ABSORVENTE DE CALOR
- ⑤ MATERIAL AISLANTE
- ⑥ CANALES DE AGUA DULCE

rarse el costo de la tierra y su preparación.

Se ha diseñado una planta piloto de 5,000 pies cuadrados de extensión. Al analizarse el costo sobre el diseño mostrado se halló que éste sería de más o menos \$3.00 por pie cuadrado. Como se ha dicho anteriormente, hay que agregar instalación de tanques, bombas y tuberías, al mismo tiempo que instalación eléctrica para su automatización, haciendo que el total sea de a proximadamente \$ 7.00 por pie cuadrado.

El informe de 1958 de la Oficina de Aguas Salinas nos habla de un contrato realizado con el Batelle Memorial Institute, de Columbus, Ohio, para la construcción del alambique de Loff, pero con una extensión de 2,500 pies cuadrados de área. Los estudios y desarrollos todavía se están realizando.

En el informe de 1960 no se hace mención al método como un sistema del Dr. G. Loff, sino que habla del método solar en general, haciendo hincapié de que no es conveniente todavía como abastecimiento de agua para grupos de personas. Se refiere también a una planta de estudios en Daytona Beach, Florida: sin especificar si es la del Dr. George Loff dice que está construída de bloques prefabricados de material asfáltico, y que están cubiertos por planchas de vidrio a 15° de inclinación y de 3/16 de pulgada de espesor; la base aislante es de bloque de concreto; se encuentran colocados los 2,500 pies cuadrados en un circuito de tipo "U". La operación inicial ha demostrado una eficiencia de 0.09 gls/pie cuadrado/día.

ELECTRODIALISIS

METODO DE LAS MEMBRANAS PERMA-SELECTIVAS

En su forma más simple, éste método utiliza la fuerza eléctrica para desalar a través de membranas semi-permeables, que son selectivas de iones, los cationes (Na^+ , Mg^{++} , etc.) y los aniones (Cl^- , SO_4^{--} , etc.), obteniéndose así un agua fresca de una salobre o salina. Según la Ionics Incorporated, es recomendable para aguas que contengan de 1,000 a 6,000 ppm. como promedio de elementos que le den gusto salobre al agua (art. por T. A. Kirkham, publicado por "Combustion", Junio de 1956).

El proceso utiliza membranas de plástico de cierto tipo, semi-permeables, que permiten el paso de iones positivos (cationes) a la vez que otra membrana, también de plástico -de tipo diferente- deja pasar únicamente a los aniones, es decir, a los iones negativos. Supóngase ahora que se tenga una solución de cloruro de sodio dentro de la cual se colocan las dos membranas antes nombradas: si se provoca un campo eléctrico sobre la celda (como muestran las figuras 1 y 2), permitiría la acción que se observa: Los iones de sodio pasarían a través de la membrana catiónica (C) pero no a través de la membrana aniónica (A). Los iones de Cl realizan la acción opuesta. Se obtendría como resultado que la fuerza eléctrica aplicada a los electrodos liberaría al agua del compartimiento central de iones positivos y negativos.

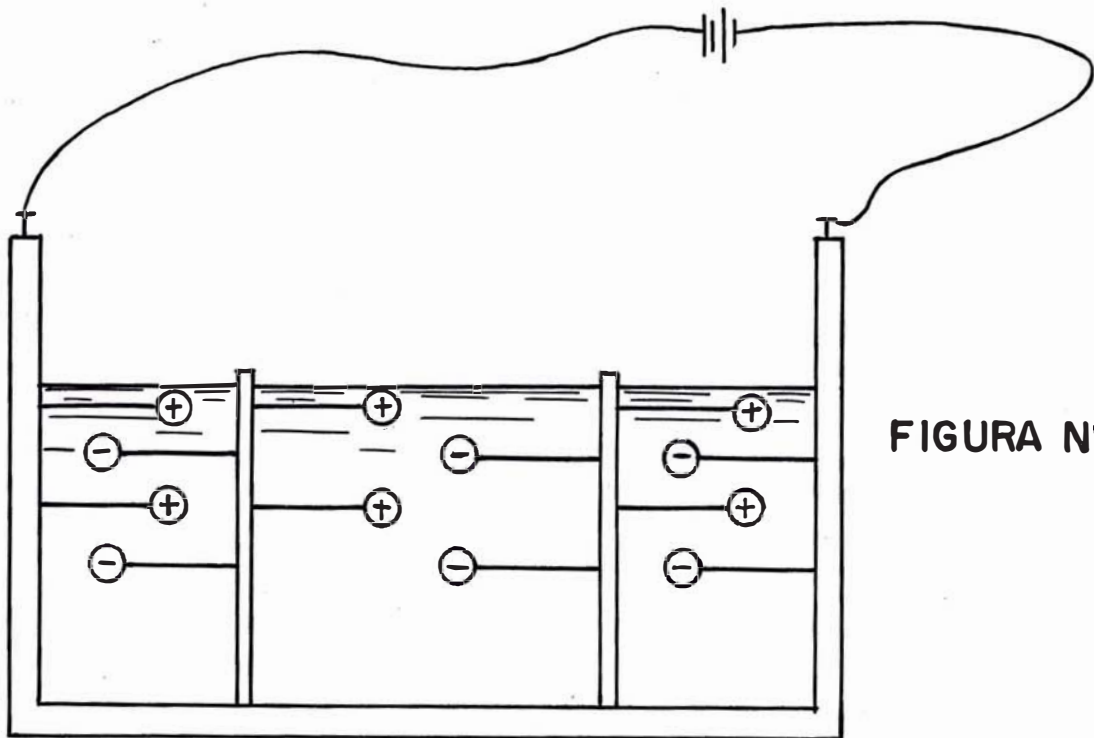


FIGURA N°1

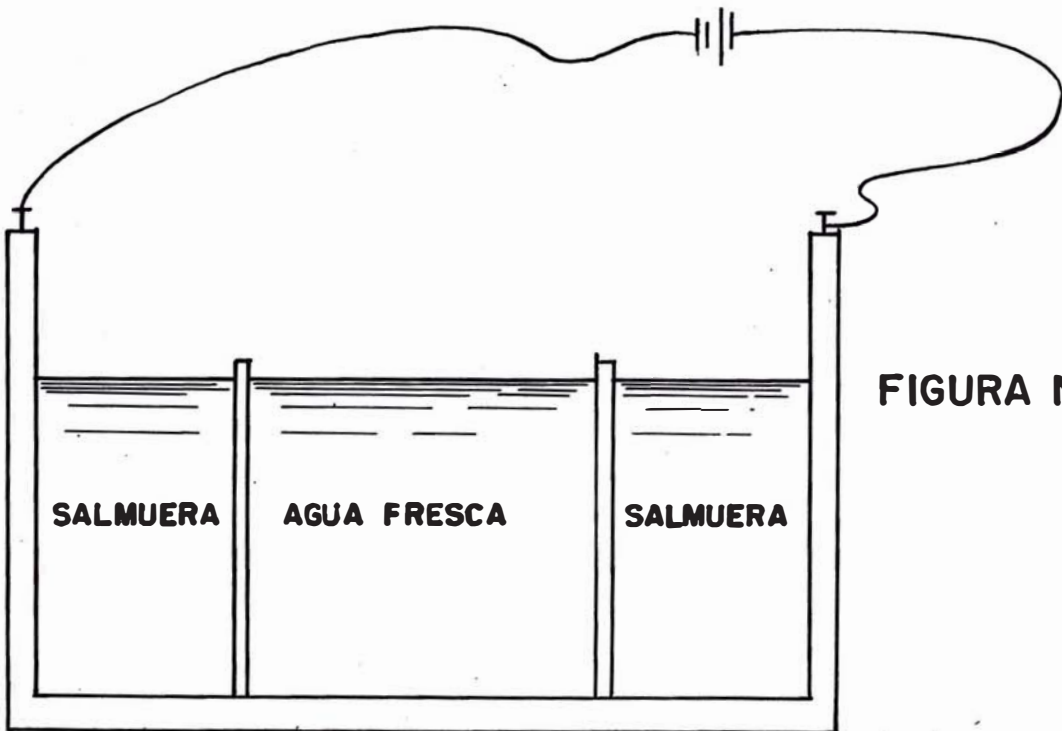


FIGURA N°2

No se tendrán reacciones de cambio de iones, por lo que no existirá el problema de regeneración. En el sentido físico, estas membranas son sólidas; sin embargo, bajo casi todos los otros puntos de vista, se comportan como soluciones de electrolitos.

Este método fué el que más entusiasmo a la Oficina de Aguas Salinas, según el informe que elevó al señor Presidente de los Estados Unidos en 1952, y era el sistema al que mejor futuro se preveía.

Mediante el uso de métodos de destilación, con resinas cambiables de iones y de electrodiálisis, podían obtenerse resultados a los cuales merecía dar mayor atención. Como ya Uds. han leído en el capítulo correspondiente a la Historia, se está estudiando una mejora en estas membranas, y este estudio acrecienta el interés. En el esquema que se muestra en la figura No. 3 puede observarse el diseño ideado, de tal manera, que se obtiene un flujo continuo de agua desmineralizada, provenga ésta ya del agua salobre o salina. El principal defecto con el cual se chocó al comienzo era el desconocimiento sobre la perma-selección de las membranas, es decir, su manera de apoderarse de los iones sobre una concentración de amplio rango en solución, propiedad que causa el transporte de iones a través de ellas, diferenciándose de aquellas, que al estar rodeadas de soluciones que contenían los mismos iones, se encontraban en equilibrio con ellas.

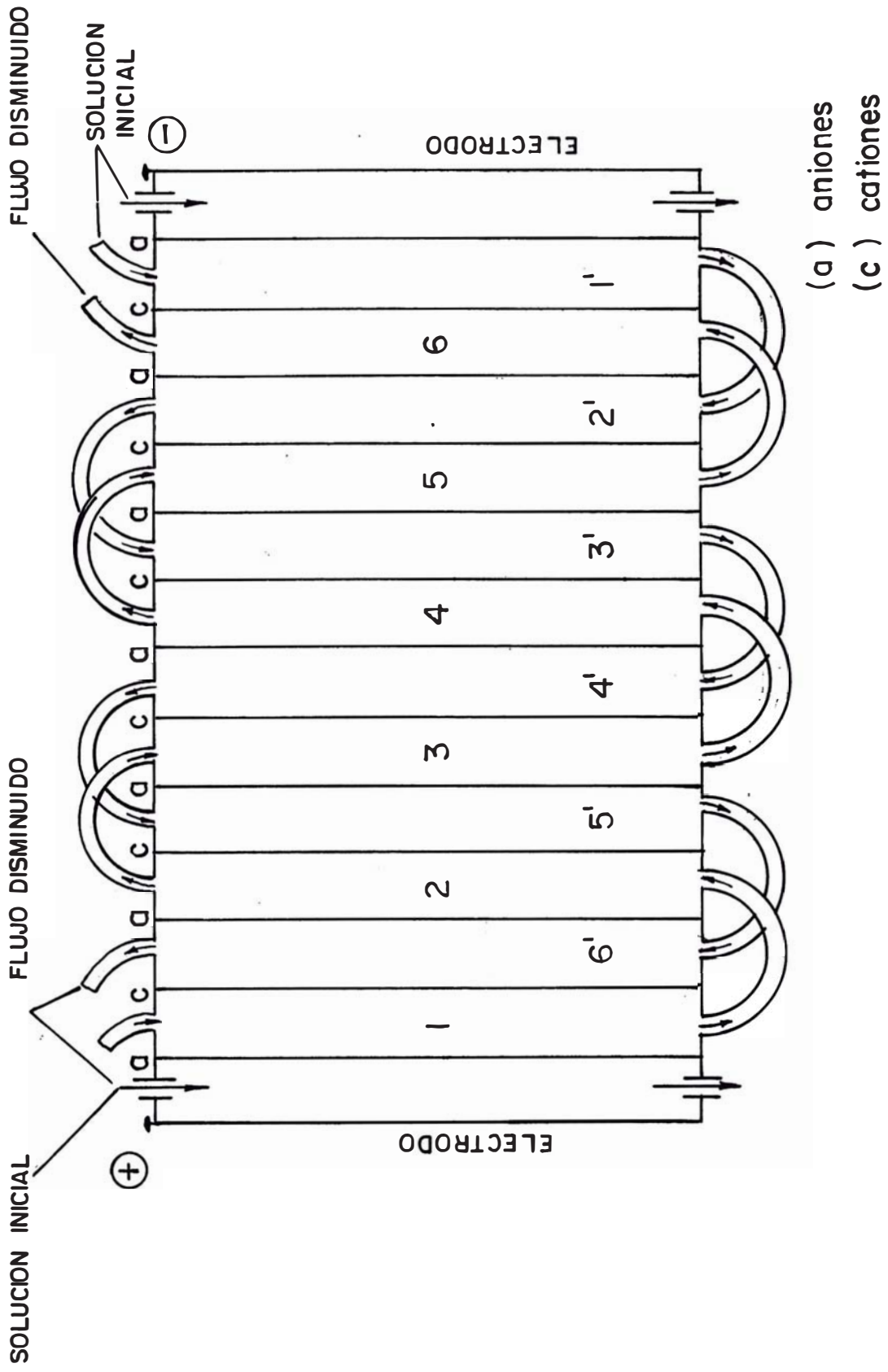
Las nuevas membranas sintéticas poseen ciertas propiedades aptas principalmente a una alta concentración de grupos de car-

ga fija. El transporte de cationes en la membrana de tipo positivo es bajo en las soluciones, mientras que en las membranas de tipo negativo los aniones se transportan rápidamente.

En 1940 Meyer y Strauss demostraron que en una serie de cámaras podrían alternarse separadamente por membranas de este tipo, es decir, colocando una positiva y otra negativa sucesivamente y haciendo pasar una corriente eléctrica a través era posible disminuir la concentración de la solución. Sólo dos electrodos son necesarios y pueden estar conectadas las cámaras alternadas en serie o paralelo. Ambas conexiones indudablemente poseen ciertas ventajas y desventajas en la práctica. En el esquema N° 3 al cual nos referimos, las cámaras están conectadas en serie y muestran un electrodiálisis de múltiples membranas cambiadoras de iones (MIEME)⁺⁺. Las membranas "a" son positivas y permeables a los aniones, mientras que las membranas "c" son las que atraen a los cationes. Aplicando un potencial eléctrico los cationes en las celdas 1, 2, ... 6, migrarán a través de la membrana catiónica permeable hacia el cátodo dentro de los compartimientos 1', 2' ... 6'; por esto, los compartimientos alternados pueden ser agotados y los otros enriquecidos conforme fluya la corriente eléctrica. Se pueden unir de tal forma o manera los compartimientos que pueda correr o exista una corriente de solución continua. La misma corriente atravesará cada una de las membranas y continuará su flujo en un tiempo "n", considerando "n" como el número de unidades (celdas). Cada unidad consiste de una cámara reducida, vecina a una cámara de concen-

⁺⁺ Multiple Ion Exchange Membrane Electrodialysis.

FIGURA Nº 3



tración con sus correspondientes membranas, catiónicas y aniónicas. El ClNa (cloruro de sodio) es electrolito, el Cl y el oxígeno pueden ser desarrollados en las cámaras del ánodo y su contenido sería ácido, mientras que el Hidrógeno (H) puede ser desarrollado en el cátodo y el Hidróxido de Sodio se formará en catalizador.

Langelier ha publicado un análisis de los problemas de desmineralización del agua de mar, en A.W.W.A. *** 44,845 (1952), sin embargo no tiene detalles esquemáticos al respecto para poder obtenerse costos del desalado, bajo ciertas condiciones variables.

Existe una publicación de Industrial an Engeenerin Chems-try, por Streicher, L. Bowers, A.E. Briggs, sobre la celda electrolítica que opera en asociación con las columnas que permutan iones y obtener así la desionización del agua salina o salobre.

Kollsman P., bajo una patente británica -con N° 694,223 del 15 de Julio de 1953- describe el electrodiálisis en celdas de múltiples membranas sin dar valores experimentales o teóricos en los resultados de operación.

Ahora bien, si se aplicase un potencial eléctrico, se tendría que:

- a.- El soluto puede ser llevado por el transporte de iones atravesando las membranas, siguiendo su curso por una difusión ordinaria.

*** American Water Works. *A₄₅*

b.- Por mecanismo de electro-endosmosis o conducción electrotromotor también puede ser llevado, o por una ósmosis ordinaria debido a la diferencia en la actividad del solvente en cada lado de las membranas.

Los procedimientos en general pueden ser clasificados en dos grupos:

A.- Aquellos que separan el agua de la solución salina, y

B.- Aquellos que separan la sal de la solución salina.

El electrodiálisis con membranas selectivas se encuentra en el segundo grupo, los costos de inversión y mantenimiento (funcionamiento), son directamente una función de la concentración de las sales inicialmente presentes en el agua de alimentación. El método de membranas y electrodiálisis puede realizar la desmineralización de aguas salobres a un costo menor que otros métodos, siempre que las concentraciones promedios sean de 1,000 a 6,000 ppm. (promedios salobres). Estos son datos proporcionados por la Ionics.

Por ejemplo, en el cuadro N° 1 que se muestra, en los Estados Unidos el tratamiento de 1,000 galones de agua salobre típica para separar 29 libras de sal, debe ser cercano a un costo de 30 centavos de dólar, para que el procedimiento pueda ser favorablemente comparado con el costo promedio para casas de familia. Así mismo, dicha tabla muestra la importancia de costos para aguas de usos agrícolas, industriales y domésticos.

C U A D R O N° 1

COSTO ESTIMADO DE ABASTECIMIENTO DE AGUAS EN U.S.A.

(ctvs. de dólar por cada mil galones)

	50,000 gals/d.	500,000 gals/d.	5 Mill gals/d.
Agricultura	10	3	0.5 - 3
Industrias	10-500	2-100	2-9
Uso doméstico	30-500	30-100	20-60

Debe tenerse siempre en cuenta que para una máxima producción unitaria hay un máximo de tensión o potencia suministrada, que puede ser tolerada; por ello se forma una película en los bordes de las membranas, que no es otra cosa que la concentración gradual. Cualquier aumento de potencia suministrada produciría una descomposición de agua, reduce la eficiencia y sólo da un pequeño aumento en la producción (T.A. Kirkham).

Por otro lado, cuanto mayor sea la velocidad de la corriente diluída mayor será el rango de potencia tolerada. En consecuencia, no es conveniente variar grandemente el régimen de la corriente diluyente, durante el funcionamiento de una membrana unidad.

Las fórmulas que a continuación se dan, son las más simplificadas y están presentadas como un dato informativo. No se ha tratado de deducirlas pues esto traería consigo el estudio profundo, con el cual se llegaría a llenar no un tomo sino varios

tomos al respecto.

La ecuación que se dá mas abajo expresa matemáticamente la energía utilizada, rendimiento o producción, con relación de áreas de membranas:

$$(n_1 - N_o) \log_{10} \frac{N_1}{N_o} - 10^{-4}(N_1 - N_o) = \frac{6 AU}{F} (70^\circ F) \quad (1)$$

Siendo:

N_1 = Total de sólidos disueltos en el agua de alimentación (ppm.)

N_o = Total de sólidos disueltos en el agua producida (ppm.)

A = Superficie del par de membranas en pies cuadrados.

U = Energía requerida por unidad de agua producida
Kws/1,000 gls.

F = Rendimiento de agua obtenida como promedio en 1,000
gls/h.

NOTA. -

$$\frac{U}{(N_1 - N_o)} = 2.5 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} \text{Kws/1000 gls/ppm.} \\ N_1 \text{ máximo} = 6,000 \text{ ppm.} \end{array}$$

En Industrial and Engeenering Chemestry se dan fórmulas bastante interesantes para este método:

Para la energía:

$$P = \frac{E (\Delta C)}{37.4 np} = (\text{Kws/lts}) \quad (2)$$

P = Energía consumida por unidad de volúmen del efluente disminuído (kWs/1000 gls/ ó kWs/lts.)

E = Potencial aplicado (volts)

n = Número de unidades (celdas), entre electrodos.

p = Eficiencia de la corriente (equivalente Faraday)

C = $C_1 - C_0$ = Diferencia de concentración de la corriente disminuída en atravesar una celda (equivalente /lts.)

Para el grado de flujo tendremos:

$$F = \frac{0.0374 (E - e) np}{R \cdot \Delta C} = \frac{Q}{\Delta C} \quad (\text{lts/h}) \quad (3)$$

En esta nueva fórmula o ecuación las letras por conocer se rían:

e = fuerza contra-electro-motiva más el potencial del electrodo (volts)

R = Resistencia eléctrica de la celda (Ohms).

F = grado de flujo volumétrico (de efluente disminuído) (gls/h o lts/h)

Q = transferencia neta del grado de sal (equivalente por litro)

Otra fórmula para calcular la resistencia de la celda:

$$R_d = \frac{nBL}{A (C_1 - C_0)} \quad \text{Ln} \frac{C_1}{C_0} \quad (4)$$

Siendo:

n = N° de celdas entre electrodos

B = una constante (Ohms cm⁴)

A = área de la membrana (en cm²)

R_d = resistencia de la solución en una simple cámara de re

ducción.

Para el cálculo de la resistencia de la corriente:

$$R_c = \frac{nBL}{A(M_o - M_1)} \text{Ln} \frac{M_o}{M_1} \quad (5)$$

en donde:

R_c = Resistencia de la solución en una simple cámara de concentración.

Tenemos otra fórmula que es:

$$R_s = R_d + R_c \quad (6)$$

R_s = Resistencia total del sistema.

La fórmula que dá la fuerza de la corriente electro-motiva es:

$$e' = \frac{nRT}{F} \text{Ln} \frac{M_o}{C_o} = \text{Los Faraday, (coulombs)} \quad (7)$$

Otra fórmula de grado de flujo es:

$$F = \frac{0.0374 (E - e)np - \left(\frac{2n+1}{1000}\right) \frac{ADR}{L} \Delta C}{R \Delta C \left(1 + \frac{C_1 \phi}{P - \phi \Delta C}\right)} \quad (8)$$

En la cual:

A = área de la membrana expuesta en cmts. cuadrados

D = difusión de electrolitos en membranas (cm^2/hora)

R = resistencia eléctrica de la celda (ohms)

ϕ = porcentaje de agua transportada (lts/Faraday)

Por último se tiene la siguiente fórmula:

$$P = \frac{E (E - e) \Delta C \left(1 + \frac{C_1 \phi}{p - \phi \Delta C}\right)}{37.4(E - e)np - (2n+1)\frac{ADR}{L} \Delta C} \quad (9)$$

Esta fórmula dá como resultado kWhs./lts.

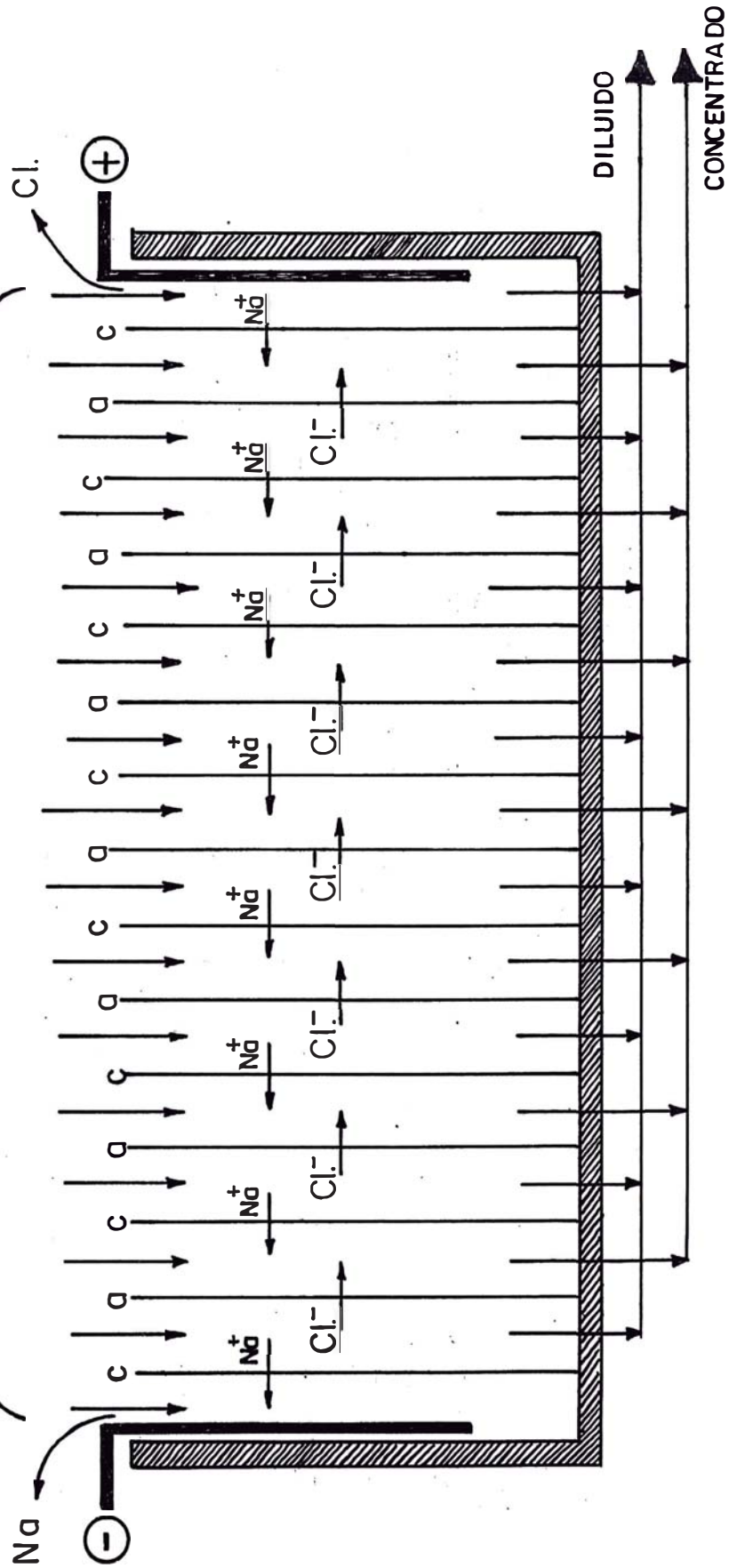
Como hemos manifestado anteriormente, no entramos a la deducción de cada fórmula, que ha salido de la experiencia, y de aplicaciones de ciertas leyes (como la de Faraday), sólo la damos como datos informativos y vamos a aplicarlas en la última parte de este capítulo.

A continuación damos algunos aspectos de proyectar una planta por el sistema usado por la Ionics Incorporated de Cambridge, Massachusset. Estos fabricantes construyen unidades denominadas STACK, que se componen de más o menos 300 placas o membranas de 18" x 20" x 0.030" de espesor, que se encuentran separadas por piezas de plástico llamadas separadores, que tienen aproximadamente las mismas dimensiones; todas las placas en conjunto determinan una altura aproximada de 30". La unidad comprende un sólo juego de electrodos; el área total será de 185 pies cuadrados.

Las placas determinan 150 pasajes (300 : 2), lo cual dá un flujo de 20 galones por minuto (80 lts); una pérdida de presión de 30 lbs/pulg. cuadrada será necesaria para mantener esta circulación, que corresponde a un consumo de 2 kWh. por cada stack.

FIG. N° 4

SOLUCION DE CL Na.



En la figura N° 4 tenemos un esquema del funcionamiento de un Stack. Para desmineralizar el agua tenemos necesidad de equipo auxiliar, como se muestra en el esquema N° 5; en él, según la Ionics Inc. se indica un sistema para obtener 28,000 galones diarios de un agua con 500 ppm., proveniente ésta de otra que contiene 1,400 ppm. Para ello es necesario un pre-tratamiento, pues se necesita una corriente que satisfaga una producción de 20 gls/min. y una corriente de lavado (para la salmuera) de 5 gls/min. Se entiende que este pre-tratamiento puede comprender desde una simple filtración por arena, a la aereación (varía según el caso) sedimentación, coagulación y clorinación.

La corriente diluyente se pasará por rebombeo a través de dos stacks en serie, y en cada uno de ellos se demineralizará a proximadamente 40%; en consecuencia, si se tiene 100%, al pasar por el primer stack quedará 40% y seguirán 60% restantes de elementos salobres, luego al pasar por el segundo stack quedará el 40% del 60% que seguía, que en realidad será el 24% del primitivo; luego, este último porcentaje sumado al primero dará un total de 64% de sal removida que contenía el agua original. El 40% es la máxima potencia satisfactoria de funcionamiento de una unidad stack. El voltaje de la corriente continua se obtiene por medio de transformadores escalonados y reóstatos, para llegar a una desmineralización apropiada. El esquema permite la utilización de una bomba para el concentrado y para la conservación del agua de deshecho.

Se introduce nueva agua de alimentación en el circuito pa-

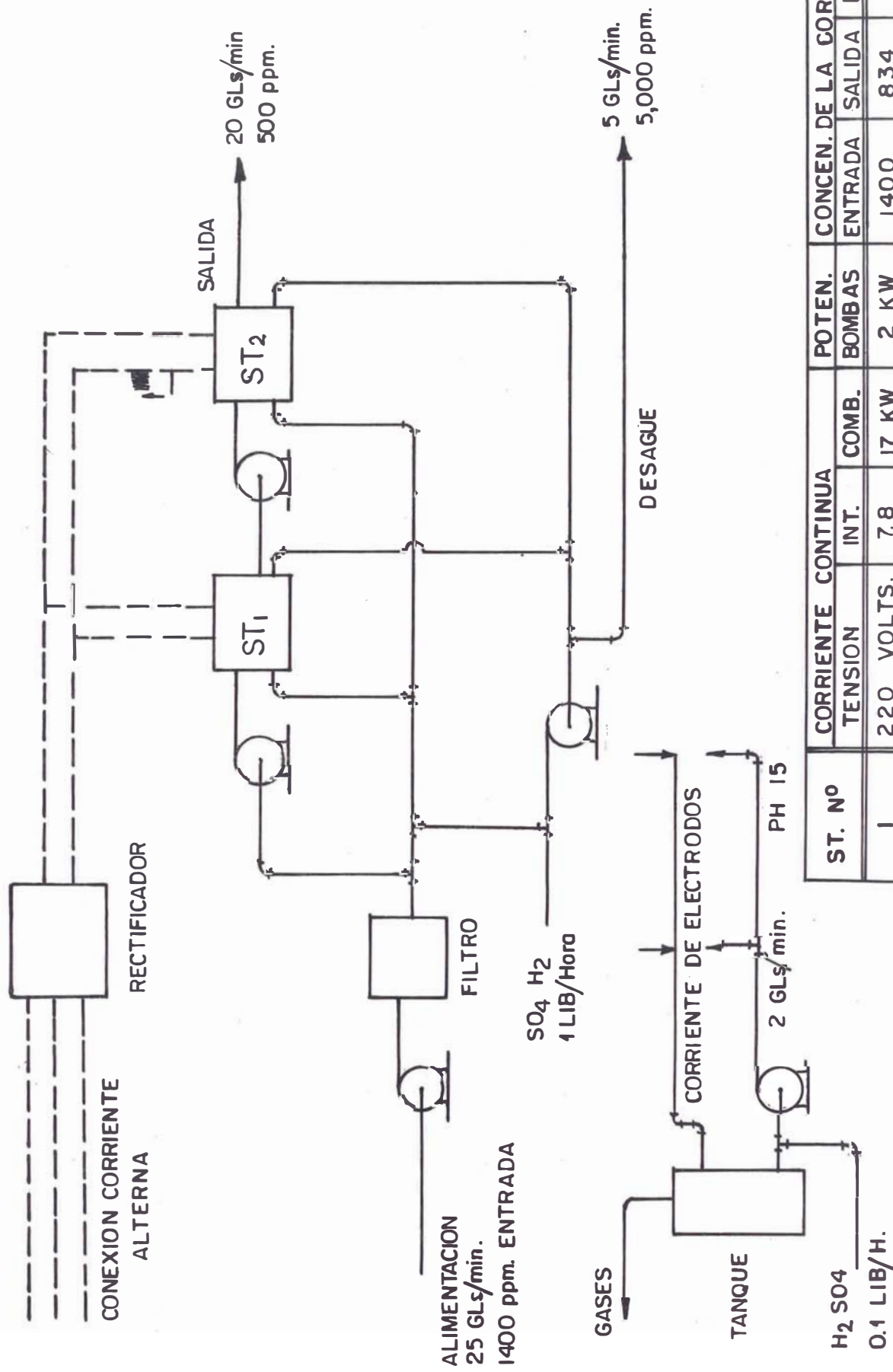
ra diluir y descargar el de recirculación. En la mayoría de los casos se utiliza el 25% de la corriente, para la corriente de deshecho descargada; en nuestro caso, al cual nos referimos, se tiene la descarga de una corriente concentrada de 5,000 ppm.

Existe una corriente, llamada corriente de electrodos, que es la que llega a los compartimentos del electrodo al final de los stacks. Esta corriente tiene en realidad dos fines, que son:

- 1.- La eliminación de productos gaseosos y disueltos, que resultan de las reacciones químicas originadas en los electrodos.
- 2.- Impide la formación de precipitados básicos en los compartimientos y células adyacentes. (Este segundo fin se realiza por el agregado de una pequeña cantidad de ácido en la recirculación de concentrado para evitar la formación de carbonato de calcio).

Por supuesto que cambiando el número de stacks se obtiene una mayor eficiencia y puede desmineralizarse un agua de mayor número de sólidos disueltos. Puede obtenerse una mayor producción agregando líneas de stacks en paralelo con las ya existentes: se asegura que por cada línea agregada se obtiene un aumento de 28,000 gls/día. Por otro lado, es aconsejable el tener un flujo menor de 20 gls./min. pues, como ya hemos manifestado, es necesario tener un mínimo de pérdida de presión, pero puede disminuirse el flujo hasta los 10 gls./min. a costa de una mayor inversión.

FIG. N° 6



ST. N°	CORRIENTE CONTINUA		COMB.	POTEN. BOMBAS		CONCEN. DE LA CORR.	
	TENSION	INT.		ENTRADA	SALIDA	P. P. M.	
1	220 VOLTS.	7.8	17 KW	2 KW	1400	834	40 %
2	220. "	4.7	10 "	2 KW	834	500	40 %

T. A. Kirkham, director de ingeniería de la Ionics Incorp. hace unas consideraciones para costos en los Estados Unidos, costos que no pueden aplicarse en el Perú debido a la capacidad adquisitiva del dólar respecto al sol peruano y a que la mano de obra, en cuanto al costo, es también diferente, lo mismo que el combustible (para ciudades que tienen electromotores). Por otro lado, el tamaño de las plantas en el Perú serían más pequeñas que otras calculadas en las mismas condiciones en los Estados Unidos, pues, como es sabido, el régimen diario de agua por habitante es más alto en ese país que en el nuestro. Sin embargo, es interesante, como habíamos dicho, este estudio de T. A. Kirkham; él asegura que habrá una condición óptima para cualquier aplicación particular por medio del uso de la fórmula N° 1, que relaciona el tamaño de la planta, la potencia consumida y el rendimiento. Clasifica los costos en dos grupos para la producción de 1,000 gls. de agua.

- a.- Gastos que, para un rendimiento fijo, decrecen cuando el tamaño de la planta disminuye.
- b.- Gastos que, para un rendimiento fijo, aumentan cuando el tamaño de la planta disminuye.

En el primer grupo se consideran los gastos correspondientes a inversiones (sin considerar los equipos de rectificación), costos de reposición de partes, y potencia de las bombas. En el segundo grupo están considerados el equipo de rectificación y la corriente continua.

Se considera que el mínimo costo para la producción de mil galones de agua fresca, proveniente de agua salobre, se encuentra en un punto en el cual el costo de la corriente continua es aproximadamente igual a la suma de gastos del grupo (a). Actualmente estos gastos varían entre 15 y 25 ctvs. por cada 1,000 galones, y por stack.

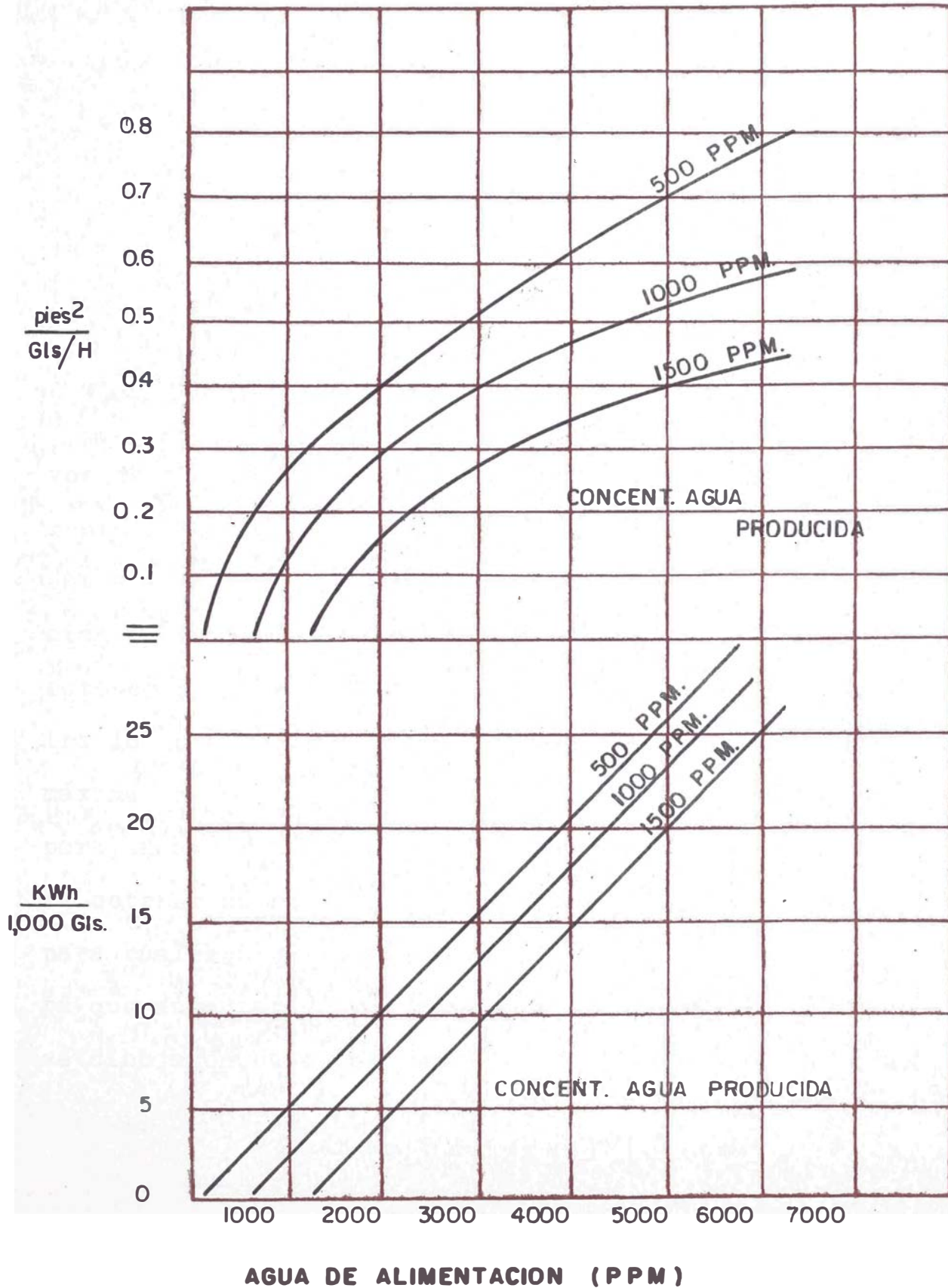
Bajo este punto, y como la potencia impone ciertas limitaciones, las plantas para tratar agua salobre o salina deben operar a una potencia inferior a la que resultaría satisfactoria. En el esquema de la planta de la figura N° 5, en la cual se utiliza dos unidades stack, lo cual fija el costo en 43 ctvs. por cada 1,000 gls., para plantas de 28,000 gls/día.

La Ionics Inc. determina el tamaño de las plantas de membranas y el consumo de energía por medio de curvas (que se muestran en las páginas subsiguientes) y que están en función del total de sólidos disueltos.

En realidad son dos curvas las que se tienen, pero ambas poseen en el eje de abscisas la representación de agua de alimentación - ppm. y en el eje de ordenadas, una curva tiene representados los pies cuadrados por galones por hora, y la otra representa: kWs.h/1,000 gls. Debe tomarse en cuenta que los resultados que se obtengan en dichas curvas son para los casos en que se considera la máxima energía suministrada a las membranas. Veamos por ejemplo el consumo de energía que habrá para eliminar 1,000 ppm. de sólidos disueltos; para ello se tendrá que conocer la concentración del agua de salida (concentración que se

NOMOGRAMA

TAMAÑO DE LA PLANTA DE MEMBRANAS Y
CONSUMO DE ENERGIA EN FUNCION DEL TOTAL
DE SOLIDOS DISUELTOS.



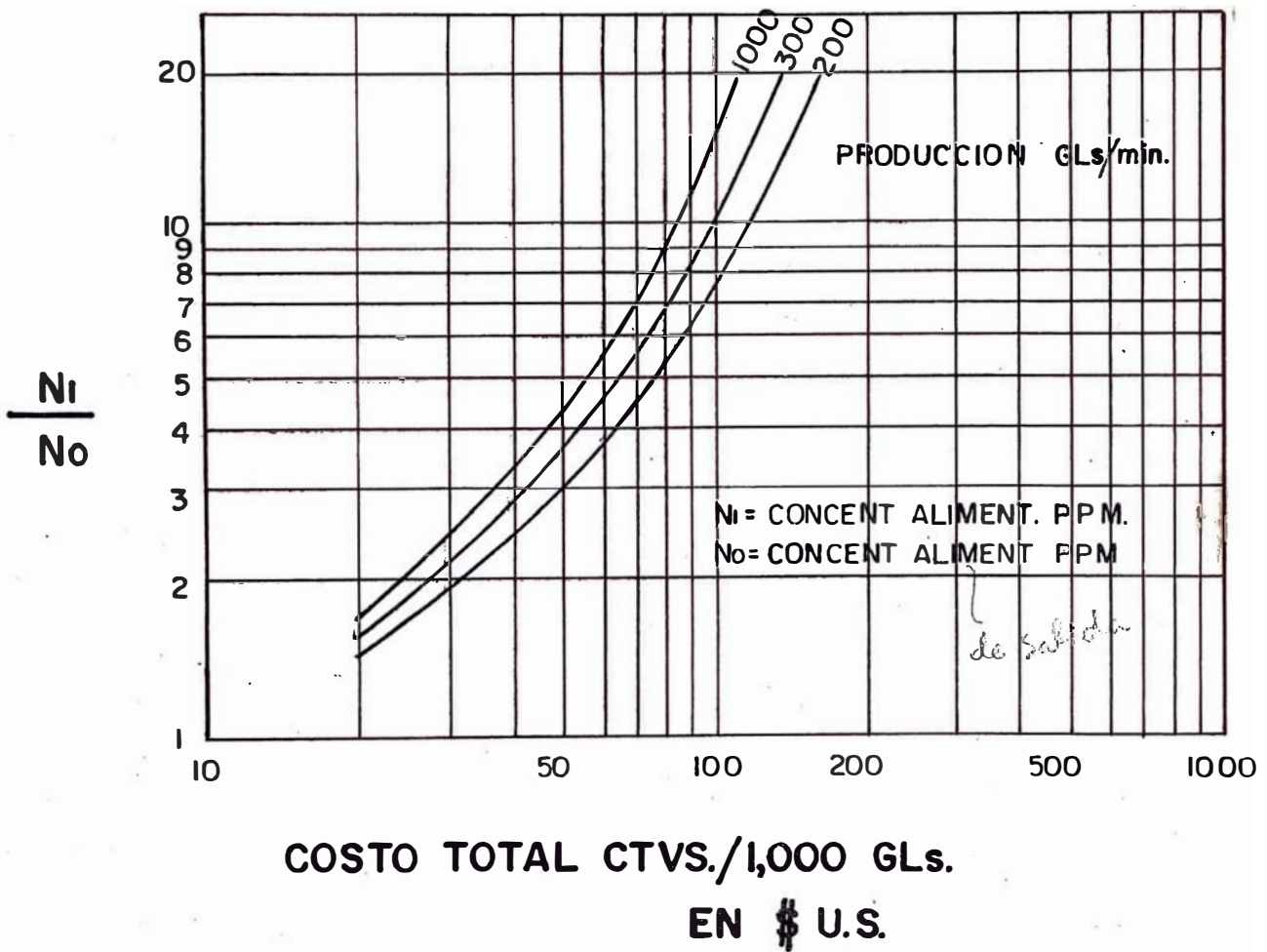
deseo): supongamos que se desee una eliminación de 1,000 ppm. y que el agua de salida tenga una concentración de 500 ppm.; para esto, vemos en las abscisas el agua que tenga concentración de 1,500 ppm. y buscamos en la curva el agua que tenga concentración de 500 ppm.; existe pues una diferencia de 1,000 ppm. que es la eliminación que se buscaba; a esto corresponde una energía aproximada de 5 a 7 kWh/1,000 gls.; lo mismo se hará para las demás concentraciones. En la curva siguiente podemos ver la superficie requerida, la cual se puede convertir en unidades stack.

Asimismo, se han hecho estudios para determinar curvas que den los costos, tanto de las inversiones como el costo en centavos de dólar por cada 1,000 gls.; en este caso, las ordenadas representan las relaciones de N_1/N_0 o sea las relaciones que hay entre la totalidad de sólidos disueltos en el agua de alimentación y el total de sólidos disueltos en el agua producida (todo esto en ppm.). El nomograma que se presenta al respecto muestra lo antedicho, considerando siempre que es para el caso de máxima energía suministrada y mínimo costo. El gráfico se hizo para un agua de salida cuya concentración fuera de 500 ppm. para obtener su costo en ctvs./1,000 gls., pero puede utilizarse para cualesquier concentración que se requiera, tomando en cuenta que aumentará su valor hasta un máximo de 20%. Las curvas se dibujaron bajo las condiciones siguientes:

- 1.- Inversiones amortizadas en 25 años al 3% de interés anual.

NOMOGRAMA

COSTO TOTAL DEL AGUA EN CTVS. POR 1,000 GALONES, PARA AGUA OBTENIDA A 500 PPM.



- 2.- Reemplazo anual de los electrodos.
- 3.- Reemplazo de las membranas a un promedio de 33.1/3 por ciento cada año.
- 4.- Costo de la conservación de los materiales al 2% anual en los componentes que no son los stack.
- 5.- Cien horas-hombre-año-stack, para los trabajos de conservación y funcionamiento.
- 6.- Energía a 1 centavo el Kwh.

Por otro lado las inversiones incluyen:

- a.- Los materiales.
- b.- Los trabajos directos.
- c.- Servicios auxiliares. Y
- d.- Ingeniería y supervisión de construcción.

Deberá excluirse la energía de los rectificadores y stack.

Los porcentajes de desvalorización para 1,000 gls. de agua producidos es como sigue:

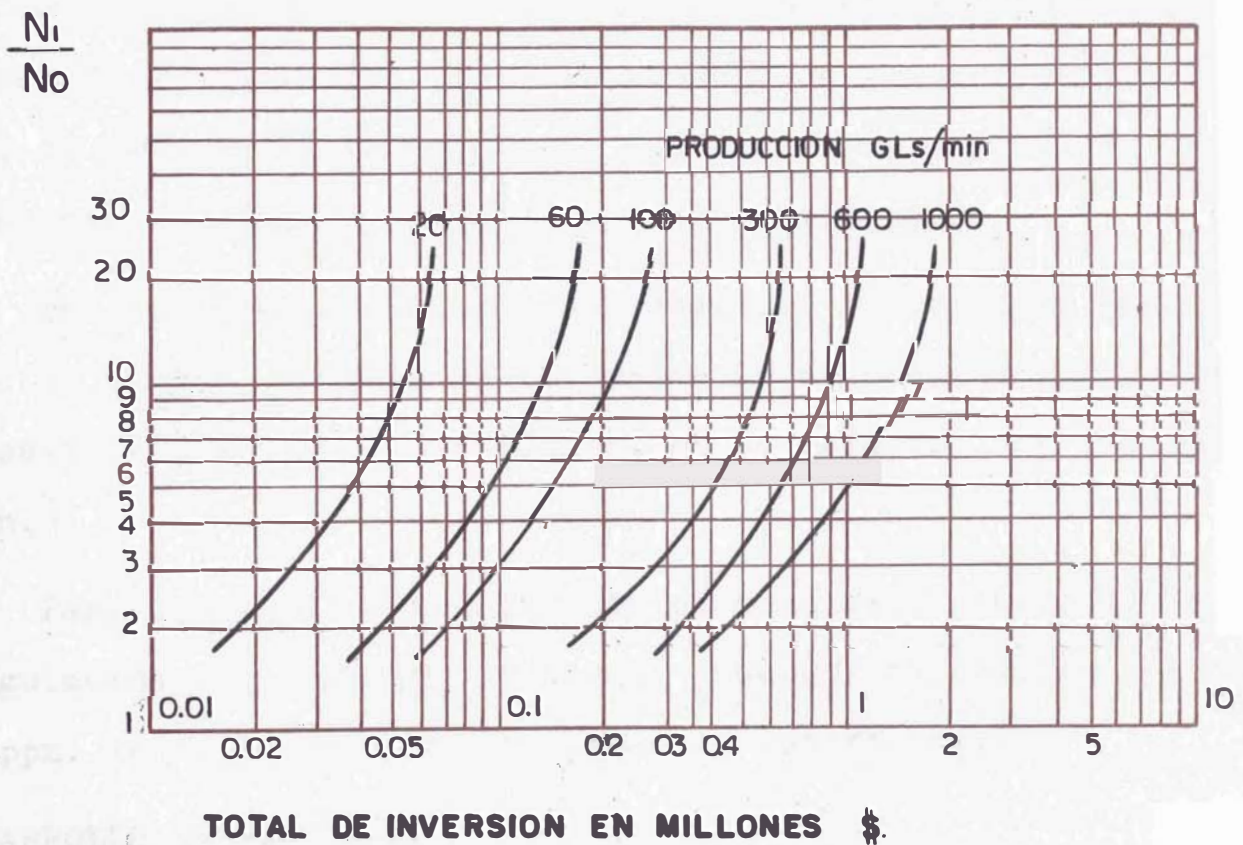
	PORCENTAJES	<u>CTVS/1,000 GLS./STACK</u>
Reemplazo de las membranas	42-46%	6.5 - 10.0
*Amortización de las inversiones	23-28	3.6 - 6.1
Trabajos de operación y mantenimiento	9-13	2.0
Reemplazo de partes	9-10	1.5 - 1.9
Energía de bombeo	8-11	1.7
Acido	1-4	0.2 - 0.4

Como se puede observar fácilmente, el reemplazo de las membranas no afecta en demasía el costo; la experiencia adquirida en la instalación de varias plantas ha indicado que el reemplazo de las membranas debe ser de 1/3 por año. Por supuesto, los menores costos de manufactura de las membranas y el menor número de reemplazos puede reducir los costos de operación de la planta. Los costos representados en el nomograma "Costo total de agua en centavos, por 1,000 galones, para agua obtenida a 500 ppm." son experiencias hechas por la Ionics, que se han conseguido por la acumulación de datos durante los proyectos, construcción y funcionamiento de varias plantas, realizados por la compañía. Los costos presentados por este nomograma, como se decía, varía desde 20 ctvs. por 1,000 galones para el 40% de desmineralización para una planta de 1'400,000 gls/día, hasta un máximo de 1.33 (dólar) por mil gls. para un 92% de demineralización en cinco etapas, con una producción de 28,000 gls/día. La energía total utilizada variará entre 23 a 25%, lo cual depende rá del número de etapas. En 1954 se determinó dichos costos en \$ 12⁵ (38 ctvs. por 1,000 gls.) para las aguas de usos municipales y de \$ 40 (12/1,000 gls.) para aguas de irrigación, representando los costos máximos para dichos usos.

Puede observarse que el uso de electrodiálisis y de membranas permaselectivas para obtención de aguas de cultivo no es recomendable en la actualidad. En nuestro tiempo, la familia promedio de los Estados Unidos gasta un total de 20 dólares al año en agua, a razón de \$ 1.00 por cada 1,000 gls., y este gasto puede

NOMOGRAMA

INVERSION EN DOLARES PARA EL TAMAÑO DE PLANTA NECESARIA, PUEDE SER FIJADO LOS VALORES DE LAS CONCENTRACIONES DEL AGUA.



N_i = CONC. DE ALIMENT. PPM.

N_o = CONC. DE SALIDA PPM.

de aumentar a \$ 1.60.

COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

Veamos ahora el comportamiento de este sistema en cuanto respecta a sólidos eliminados, desarrollo de bacterias, impurezas de hierro, hidrógeno sulfurado, hierro, incrustaciones.

SOLIDOS ELIMINADOS

Como se tienen pequeños pasajes para la corriente del flúido, dentro de las membranas stack, es necesario la eliminación de los sólidos suspendidos en el agua de entrada, o en otras palabras, de Alimentación, pues la mayoría de los sólidos suspendos, de naturaleza orgánica, se adhiere a las superficies de las membranas formándose un barro que debe evitarse.

En las aguas de pozos no se requiere filtración, pero, debido al bombeo, a veces se introduce arena y cieno por lo que se necesita una filtración rápida o, en su defecto, una sedimentación.

Para las aguas superficiales es necesario generalmente de coagulación y filtración de arena. Cuando los sólidos son de 20 ppm. la filtración de Diatomeas es satisfactoria.

DESARROLLO DE BACTERIAS

Las membranas stack sirven de medios de cultivo (criaderos) para las bacterias, de los varios tipos de bacterias encontradas en un agua no estéril, pero se pudo observar que si las membranas y el agua de alimentación se encontraban libres de bacterias

no existían estos desarrollos dentro de las membranas. Pero en cambio habrá una producción enorme de bacterias si éstas se encuentran en el agua de alimentación. La solución de este problema ha sido por la aplicación de Cloro, manteniendo Cl. residual en el agua producida.

IMPUREZAS DE HIERRO

Si las aguas tienen 0.3 ppm. de Fe. o menos, el tratamiento de electrodiálisis se realiza exitosamente durante miles de horas, pero aquellas aguas que contienen de 1 ppm. a más dejan un barro parduzco sobre las membranas afectando así su rendimiento. Por ello, es recomendable realizar una reacción y clorinación directa, al igual que una filtración, para la remoción de Fe. cuando su concentración es de 1.00 o similar.

HIDROGENO SULFURADO + HIERRO

La Ionics ha tenido experiencia al respecto, en una planta ubicada en la zona de Middle East, en donde las aguas contienen grandes cantidades de hierro (5 ppm.) y SH_2 (60 ppm.), y por lo tanto, el material se presenta muchas veces en forma de SFe . en suspensión; todo esto trae como consecuencia que se deposite una capa de color negra brillante en las membranas; esta película se elimina por medio de un tratamiento químico.

La película produce un efecto sobre las membranas, a las cuales vuelve quebradizas rompiéndose fácilmente bajo estas condiciones; el material se elimina por una clorinación directa seguida por una filtración. Algunas veces, en instalaciones gran

des, será necesario una aereación previa seguida de una sedimentación para reducir la carga de clorinación.

INCRUSTACIONES

Referente a este problema podemos afirmar que la totalidad de las aguas salobres contienen grandes cantidades de CO_3Ca , conteniendo varias saturaciones por SO_4Ca . En realidad, no hay mucho calentamiento durante el proceso por lo que no se debe esperar incrustaciones o depósitos, pero se han obtenido observaciones en las cuales se nota cierta existencia de precipitación en la membrana del anión; se cree que esto se debe a un fenómeno del PH.; en cambio, no existe precipitación sobre la membrana del catión.

La eliminación del CO_3Ca ha sido fácil debido a la aplicación continua del SO_4H_2 a la corriente de descarga. En la corriente diluyente no habrá problemas sobre cambio de PH.; más bien, en la corriente de concentración hay un promedio de 0.5 unidades. La cantidad de ácido utilizado es de aproximadamente una onza para cada 1,000 gls. de agua que se desmineraliza, con un costo cercano a los 2 ctvs. que, como se aprecia, es un factor secundario. Esta aplicación del ácido evita también la acumulación, removiéndola después de semanas que se ha realizado ésta.

El SO_4Ca que se obtiene por esta aplicación es fácil de controlar por medio de una debida descarga.

CONCLUSIONES SOBRE EL METODO DE ELECTRODIALISIS

El futuro lejano no se puede asegurar, pero como ya han podido ver en el capítulo referente a la Historia, el estudio y desarrollo de la manufactura de membranas promete una gran utilización siempre y cuando se abarate el costo de producción debido a la fabricación en masa que se haga de las unidades, al igual que el costo de mantenimiento.

En el informe anual de 1958 (Annual report 1958) se especifica el interés del gobierno norteamericano por el desarrollo de este método, pues en dicho año se llegó a la suma de \$ 936,735, comparada con \$ 674,261 que se tuvo en 1957, como renovación de contratos. La pérdida neta para 1958 fué de 16,128 dólares, comparados con los 67,438 en 1957.

Debido a esta ayuda para el estudio y desarrollo se ha podido avanzar en la eficiencia, reducción de costos y adaptabilidad de las membranas y equipos de membranas de la Ionics (sobre todo en lo que respecta a membranas). Se ha diseñado plantas de membranas stacks que producen 250,000 gls/día, considerándose que la membrana stack previa fué para 28,000 gls/día; se ha conectado estas membranas en paralelo para incrementar la eficiencia y capacidad.

El Senador Anderson y Case ha autorizado \$ 10'000,000 para que la Secretaría del Interior autorice la construcción de cinco plantas en escala de demostración, usando diferentes procesos en aguas de procedencia salina. Por esto se hizo en Septiembre de

1958 el diseño para una planta de tratamiento de agua de mar, y dos en operación con agua salobre.

La Ionics ha obtenido en exclusividad una licencia, en conformidad con la American Oil Company (Amoco), por medio de la cual se tiene nuevas membranas para, con nuevos procesos, separar la mezcla de líquidos no iónicos.

Este proceso desarrollado por Amoco promete simplificar y ser más económico que otros procesos para separación de soluciones industriales. Esta operación tiene un principio diferente del proceso de las membranas cambiadoras de iones.

ACLARACIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL USO DEL PRESENTE METODO

El término "sólidos disueltos" cubre algunos o todos aquellos minerales como: sal, yeso (sulfato de cal), alcalinidad, dureza, dureza permanente, dureza no carbonatada, dureza carbonatada, cloruros, sulfatos, etc. En otras palabras, el "total de sólidos disueltos" "Salinidad" y "Sal" son usados alternativamente.

El término "ppm" (partes por millón) es usado para expresar el total de sólidos disueltos en el agua. El promedio de sólidos en el agua de mar es cerca de 35,000 ppm. de sal (sólidos disueltos), y el U. S. Public Health recomienda 500 ppm. para aguas de bebida; sin embargo, puede aceptarse hasta 1,000 ppm. cuando proviene de una alta concentración salina.

La Ionics recomienda el uso de electrodiálisis y de membranas intercambiables de iones en:

- Lavanderías
- Hoteles
- Campamentos de trabajos (campos de exploración de petróleo y campamentos mineros)
- Zonas militares
- Barcos (comerciales y militares)
- Abastecimientos de aguas en islas.
- Lecherías
- Heladerías
- Plantas de aguas
- Hospitales
- Requerimientos de aguas puras en procesos industriales
- Pequeñas comunidades, que sufren en tener un agua de gusto salobre.

Habíamos dicho que más adelante daríamos un ejemplo de aplicación de las fórmulas que se dieron antes; el ejemplo que presentamos a continuación ha sido extraído de la revista "Industrial and Engineering Chemistry" (4753 de 1955); por él se darán cuenta Uds. de cómo se puede calcular la resistencia de las celdas y el flujo en ellas.

Los datos son los siguientes:

Concentración de alimentación	$C_1 = 0.010 \text{ N}$
	$M_1 = 0.01 \text{ N}$
Concentración del efluente	$C_o = 0.001 \text{ N}$
	$M_o = 0.019 \text{ N}$

Voltaje aplicado	25 volts
Nº de unidades (celdas)	51
Area	1 pie ² = 144 pulg ²
Espesor de la cámara	5/16 de pulg.
Espesor de la membrana	25 mils.

Solución:

La resistencia de la celda se obtiene aplicando la fórmula (4).

Tendremos:

$$R_d = \frac{(51)(3.788)(5/16)(2.303) \log. 10}{(144)(0.010 - 0.001)}$$

$$R_d = 107 \text{ Ohms.}$$

Para la resistencia de la corriente aplicamos (5):

$$R_c = \frac{(51)(3.90)(95/16)(2.303) \log. 1.9}{(144)(0.019 - 0.010)}$$

$$R_c = 30.8 \text{ ohms.}$$

Por otro lado sabemos que $R_s = R_d + R_c$ (6)

Luego:

$$R_s = 107 + 30.8 = 138 \text{ ohms.}$$

Siendo R_s , la resistencia total de la solución en ohms.

Ahora, se calcula la resistencia de las membranas, pero como la resistencia de las membranas no variará grandemente sobre las concentraciones de rangos considerados, la ventaja o porcentaje de resistencia de membranas, o por membrana, puede ser ajust

tada o considerada dentro de la resistencia de las membranas a 0.010 N.

De donde:

$$R_{cl} = 0.16 \text{ Ohms/pie cuadrado}$$

$$R_{al} = 0.17 \text{ Ohms/pie cuadrado}$$

$$R_m = (51)(0.16) + (51)(0.17)$$

$$R_m = 17 \text{ Ohms.}$$

Luego, el total de la resistencia en las celdas será:

$$R_t = 155 \text{ Ohms.}$$

Ahora, para el cálculo de la fuerza de la corriente electromotiva se aplica la fórmula (7).

$$e' = (51)(0.0577) \log. 19 = 3.8 \text{ volts}$$

La descomposición del voltaje se asume igual a 2.5 volts y por lo tanto la fuerza de corriente contra-electromotiva será: 6.3 volts.

Por la fórmula (8) podemos calcular la capacidad de las celdas:

$$F = \frac{(0.0374)(51)(0.98)(25-6.3) - \frac{(102)(930)(0.0027)(155)(0.009)}{(1000)(0.064)}}{(3.785)(155)(0.009) \left[1 + \frac{(0.010)(0.275)}{1 - (0.275)(0.009)} \right]}$$

Lo que dá:

$$F = 6.70 \text{ gls/hora.}$$

Con este último cálculo hemos dado respuesta a las preguntas del problema propuesto.

PROCESOS REFRIGERANTES

Los procesos refrigerantes, o sistemas de congelación como también se les llama, son sistemas que utilizan bajas temperaturas.

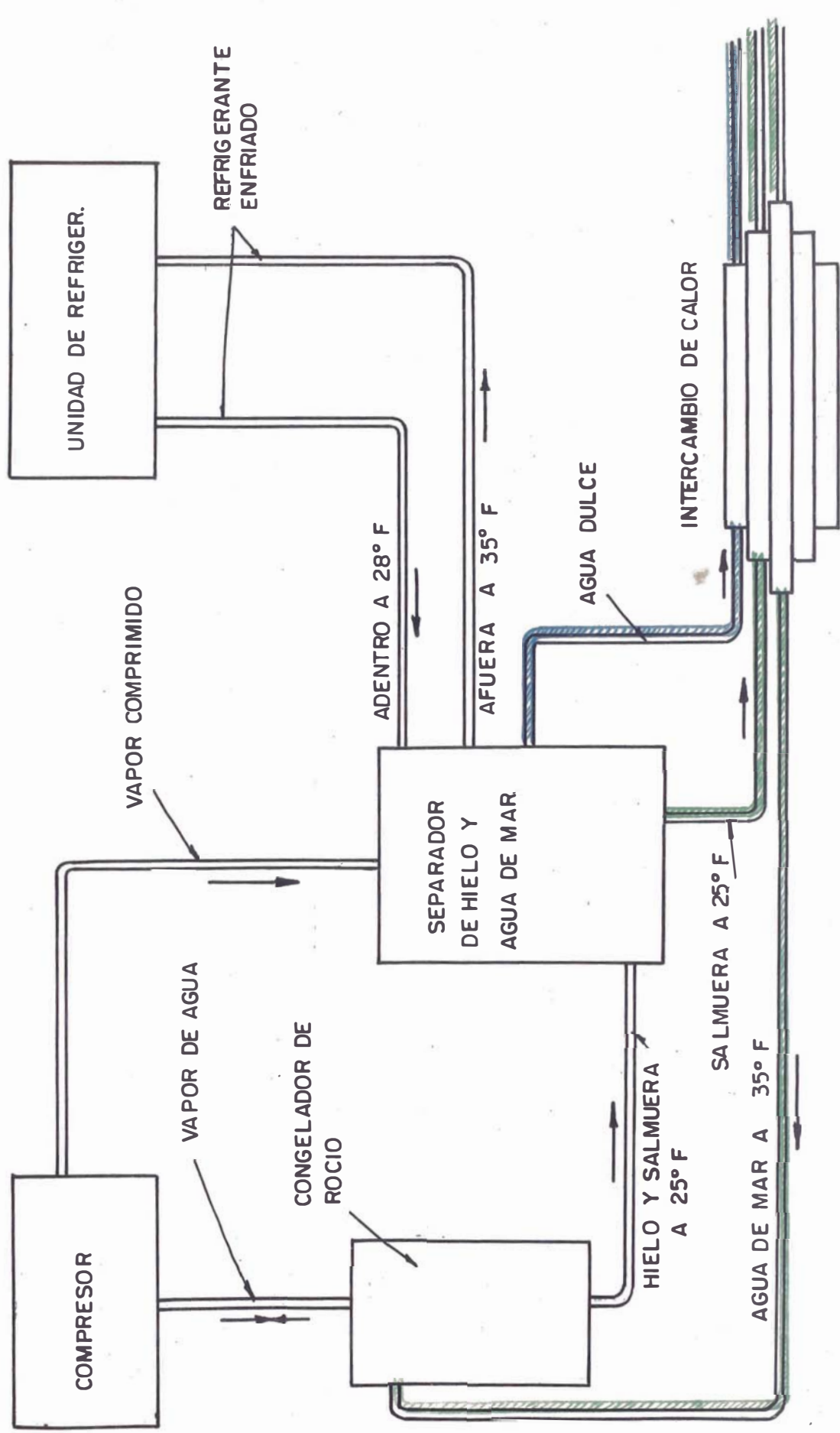
En los informes de los años de 1957-60 se habla de estos procesos; en el primero se refiere a éste: "Los procesos refrigerantes tienen ciertas ventajas en la aplicación de separación de sal desde el agua de mar". Hace dos años el Programa (se refiere al programa de la Oficina de Aguas Salinas) ha puesto un mayor interés en los desarrollos y estudios sobre el sistema.

En el informe presentado por el Comité de Estudios de Aguas del Senado de los Estados Unidos (1960), se habla de un contrato realizado con la Carrier Corporation, la cual en su diseño utiliza la evaporación flash con un pre-enfriamiento del agua de mar; produciendo hielo y luego lavando se separa la salmuera congelada de la mezcla; asegura que en óptimas condiciones se puede conseguir un proceso económico, siempre que sea utilizado en producción en gran escala.

El sistema en sí consta, en congelar el agua de mar consiguiéndose un sólido que tiene salmuera; luego se elimina el agua salada pasando por zonas que recalientan este hielo. El proceso tiene la ventaja de que no se forman incrustaciones con la correspondiente corrosión así como la recuperación de la energía; sin embargo, presenta una dificultad bastante grande y ella

SISTEMA REFRIGERANTE

FIG. N° I



es la oclusión de la salmuera con los cristales de hielo. Hoy en día los estudios tienden a conseguir subsanar ésta dificultad; cabe agregar que estos estudios están adelantados.

A continuación se les presenta un esquema de este proceso (diagrama N° 1):

El agua es introducida a un cambiador o intercambiador de calor, del cual sale a 35°F., yendo a un congelador en el que se tiene baja presión (congelador de rocío); desde él van dos conductos, uno al compresor y otro al separador de hielo y agua de mar. Lo que llega al compresor es vapor de agua que luego se comprime hacia el separador, y lo que llega al separador desde el congelador es hielo más salmuera a 25°F. (aproximadamente -4 grados centígrados). Del separador hay dos conductos que van a una unidad refrigerante, uno de conducción a 35°F. (1.7°C.) y otro de regreso a 28°F. (-2°C/). Los otros sistemas llevan al cambiador de calor; el agua dulce y la salmuera a 25°F (-4°C) respectivamente. No hay un costo definitivo en los estudios realizados en Estados Unidos porque todavía se haya en la etapa de experimentación, pero se piensa construir una planta para producción en gran escala.

En un artículo escrito por Robert Keatley, reportero especializado del periódico "The Wall Street Journal", él hace referencias a éste método que tiene controversias, y lo presenta como el sistema usado por la Fairbanks Whitney, desarrollándose en Israel por el Dr. Zarchin, emigrado de nacionalidad rusa.

El Dr. Zarchin mantiene en secreto su sistema, pues ha rehusado dar detalles al respecto, pero la Fairbanks ha proclamado oficialmente que el costo de producción está bajo los 40 centavos de dólar por 1,000 galones. La compañía dice que el gobierno de Israel ha construído una planta para 250,000 galones por día en el golfo de Acaba, con equipo hecho por una subsidiaria, la Morse & Co.

Una declaración de la Compañía asegura que puede construir se en Estados Unidos una planta de 1'000,000 de galones/día a un costo de \$ 700,000 dólares, incluyendo: terrenos, equipos, intereses de pago, labor y otros conceptos.

OTROS PROCESOS

METODO FRANCES

Debo dejar en claro que en la conferencia sustentada por el Dr. Dumesnil en la Sociedad de Ingenieros del Perú, en el mes de Setiembre del año en curso, no nombró este método, razón por la cual le pedí información al final de su charla respecto al mismo. Supe que todo el mundo se encontraba interesado en el método aplicado en Abidjan pero que, en realidad, había tenido visos de estafa, y se había trabajado sin planos.

Sin embargo, lo vamos a exponer más adelante pues la idea es buena y algún día podrá aplicarse, cuando la técnica haya avanzado lo suficiente para poder solucionar los problemas.

Se les va a exponer aquí el método Francés en una forma casi histórica, en la cual van a apreciar los fracasos y los triunfos que se consiguieron en la consecución de la obra.

Este método fué llevado a cabo al comienzo con el fin de construir una Central Eléctrica, utilizando la energía térmica de los mares, en Abidjan en la Costa de Marfil (Africa).

Como se sabe, D'arsonval sugirió la aplicación del principio de Carnot, que propinaba la utilización de las fuentes cálidas y frías, vecinas entre sí, aun cuando tuvieran una diferencia de temperatura muy pequeña. En 1926 a 1934 George Claude y Boucherot emprendieron varios experimentos, juntos al comienzo y siguiendo luego G. Claude solo; estos experimentos llevaron

al triunfo la construcción de la turbina de Ougree en Bélgica y las experiencias de Matanzas en Cuba, durante los años de 1929 y 1930, en las cuales se hizo funcionar un pequeño alternador de 40 kws. ante un jurado oficial cubano.

Los estudios en una escala industrial se iniciaron por el gobierno francés en 1941 y el punto que se escogió fué el de Abidjan en la costa de Marfil. Estas investigaciones se hicieron en un comienzo por el Centro Nacional de la Investigación Científica y por el Oficio de la Investigación Científica y Técnica de Ultramar, que en 1946 se unieron para crear la Sociedad de Energía de los Mares, teniendo como fin realizar los estudios y desarrollos para la construcción de dicha central.

Importantes estudios se llevaron a cabo pues se tropezaron con problemas que no se habían resuelto ni teórica ni prácticamente por técnicos en la materia, como eran: la mezcla eventual de grandes masas de aguas de densidades diferentes, funcionamiento en vacío de las turbinas, cubiertas de cemento armado, extractores de aire, evaporadores, condensadores, hidrografía de los fondos, etc., y todos ellos han sido resueltos satisfactoriamente, llevándose a fin su cometido. El problema más difícil fué el de la colocación de la tubería de extracción de agua fría hacia la Central, desde una profundidad de 420 metros.

Esto último constituyó un problema bastante grande, pues se sabe que los fracasos de G. Claude en Cuba se debieron a que no prestó una mayor atención a la colocación de la tubería en mar agitado, sino que realizó un estudio imperfecto del problema.

Los fracasos a los cuales hacemos mención, llevaron a dirigir los estudios a la solución de este obstáculo, y la idea principal rondaba pues en sustraer de los efectos del oleaje a la tubería durante su transporte, y mantenerla sostenida para dominar la maniobra en todo momento.

La solución era el uso de flotadores anti-oleaje, que se colocaron en numeros puntos, los cuales tenían uniones flexibles que permitían que los elementos de la tubería tomaran ciertos ángulos , unos con relación a otros, en el momento de su colocación, y luego en el fondo se amoldasen a la configuración del suelo submarino.

En 1946, la "Sociedad de Energía de los Mares", por medio del Organismo de Estudios dirigido por la C.N.R.S. hizo construir una sección de 150 metros de tubería con un diámetro de 2.50 mts., lo mismo que cuatro flotadores anti-oleaje especiales y dos uniones flexibles que separaban tres elementos rígidos de 50 metros cada uno, los cuales estaban constituidos por ocho partes rígidas de acero enpernados entre ellos.

En 1947, con la ayuda de la Marina Nacional, se comenzaron las pruebas que se realizaron en Brest, las cuales permitieron comprobar el comportamiento de la tubería experimental en la navegación por un mar agitado, pero sin llegarse a realizar la operación completa de bajada de la tubería por falta de medios mecánicos suficientes y por la distancia a la que habría sido llevado el convoy para encontrar los fondos requeridos.

Sin embargo, de los estudios efectuados en 1949 sobre la hidrografía del litoral de Abidjan y de los sondajes del "Pozo sin fondo" se supo que en el valle submarino se encontraban penientes del orden de 40° , lo que traía como consecuencia el tomarlas en consideración y resolver este nuevo problema. Este obstáculo era necesario resolverlo in situ, y ensayar recientes técnicas o métodos de transporte y colocación de una tubería semi-flexible que fuera capaz de adaptarse lo más posible al perfil del terreno de la parte terminal del trazo.

Ahora se disponía de máquinas mejor estudiadas y probadas, algunas veces en modelos reducidos, sobre todo los flotadores anti-oleaje que tenían ventajas sobre los construídos en 1947, entre ellas la de tener un winche a motor, de 10.5 toneladas de fuerza, estos tenían aparejos y podían soportar todas las velocidades de bajada o subida, lo que permitía bajar o levantar la tubería bajo ángulos variables según los perfiles que se fueran adoptando. Estas plataformas de maniobras descansaban sobre cajas estabilizadoras, y los pilares fueron suprimidos; la nueva tubería experimental tenía 1.75 mts. de diámetro y 150 mts. de largo en tres elementos separados por uniones de jebe armado , (parte flexible), haciéndose variar el número de uniones flexibles se lograba una adaptación al valle submarino.

El montaje se comenzó en 1952 y se terminó en marzo de 1953 tiempo en que tocaba a su fin la estación favorable para la salida al mar, y apenas se tuvo tiempo al equilibraje de los dos primeros flotadores y al ajuste de los winches antes de que lle

garan las primeras lluvias.

Desde el principio de la estación calurosa se volvieron a comenzar los trabajos; se realizaron pruebas en laguna, sobre el empalme y empernado de la tubería, para lo cual se entrenó a antiguos hombres-ranas de la marina, especializados en trabajos submarinos, entre Octubre y Diciembre, después de lo cual el convoy de cuatro flotadores que transportaba la tubería experimental partió el 13 de Enero de 1954. Se cruzó el canal de Vridi sin incidentes. Al desembocar al mar, los flotadores se comportaban magníficamente sin mayor sensibilidad al oleaje, estando el mar agitado y con corrientes bastantes fuertes. Pero un error, cometido por una fábrica local, en la caña del cable, trajo como consecuencia que el convoy parara y que se vieran obligados a colocar prematuramente la tubería. Después de ardua labor, que llevó semanas de trabajo, pudo recuperarse la tubería y, estudiada la causa del accidente, se subsanó con el estudio y la ejecución de un balanceo sobre el que no incurriría ningún error de fábrica. Durante estos trabajos se realizaron a la vez investigaciones sobre el comportamiento de la tubería flexible, que comprendía la parte final de la toma de agua fría. Principalmente las pruebas de flexibilidad sobrepasaron las esperanzas de los técnicos y ya se tiene la seguridad de una tubería con uniones flexibles y con elementos rígidos en menor proporción que los primeros, hace que tome más estrechamente el perfil del fondo.

El 10 de Abril de 1954 y con mar bastante agitado, lo mismo

que con viento frío, el convoy que transportaba la tubería, que por las circunstancias la había tornado rígida, permaneció 8 horas sobre el "Pozo sin fondo", con olas que llegaban a los dos metros de altura. Para ello un convoy de cuatro flotadores, el 17 de Abril del mismo año, colocó una carga que representaba el peso de la tubería semi-rígida; realizó este trabajo sobre el "pozo sin fondo" hasta la cota -117, llevándola después a puerto en buenas condiciones. Esta nueva prueba clausuraba la serie de indagaciones que se comenzaron desde 1952. Los estudios demostraron igualmente que la rentabilidad industrial de una Central, como la diseñada en Abidjan de 7,000 kW. en dos grupos autónomos de 3,500 kW. cada uno, se podía considerar como segura por la venta de la corriente eléctrica obtenida, sin tener en cuenta los subproductos que podrían obtenerse con esta nueva fuente de energía.

Se construyó un nuevo tipo de flotador con los datos que se obtuvieron en el período de ensayos, de Enero a Abril de 1954 con los cuales se conseguía un calado menor y facilidad de lastraje, pero conservando los principios cuyas cualidades se habían demostrado durante las anteriores salidas. Un prototipo de estos flotadores se probó en trabajos de grandes profundidades en el litoral de Tálou, después de lo cual fué enviado a Abidjan completamente montado para que se incluyera en el convoy experimental.

Ahora las dos secciones de la tubería eran de 102 metros de largo y fueron ensambladas sobre un "slip" de lanzamiento y

transportadas a través de la laguna Ebrié en donde los convoyes fueron cargados por cuatro flotadores del nuevo tipo para el empalme a 15 metros de profundidad.

Para este empalme se tuvo que entrenar a hombres ranas de la marina; para el efecto, se entrenó al personal en los inconvenientes que se encontrarían en una laguna, eliminando así todos los tanteos de la operación y los errores que estuvieran tentados a cometer. El primer ensayo duró tres horas, la segunda prueba duró 45 minutos, con lo que se consiguió que se efectuara la operación al ritmo de un perno por minuto y por buzo. Después de realizar estos preparativos del personal y del material se estaba listo para llevarlos a cabo en el mar.

En la primera maniobra se tuvo como resultado una rica experiencia sobre esta labor, pero un defecto de impermeabilidad de cierre de una caja estabilizadora de flotador, por la que fué preciso realizar un cambio en pleno mar de un flotador de sus--pensión, maniobra que logró éxito, la prueba de empalme mar a-dentro se emprendió el 11 de Diciembre de 1955 con olas de 1.00 mt. a 1.5 mts. sin ningún contratiempo.

Las operaciones de acercamiento, ajuste y embridado fueron más fáciles en el mar que las llevadas a efecto en laguna, debido a la mejor visibilidad y a los movimientos residuales de las olas. Se efectuó en menos de una hora y su ritmo fué de un perno-minuto-buzo.

Con ocasión de esta maniobra, una sección de tubería perma

neció en fondos de cuarenta metros durante tres noches consecutivas, con sus flotadores sirviéndoles de anclaje, por medio de los cables de levantamiento. Un minucioso examen del material no reveló fallas, tanto en los flotadores como en la tubería, a si como en los balancines de suspensión.

No quedaba sino probar el comportamiento de los aparatos y materiales a mayor profundidad; para ello se colocó una tubería a 300 mts. (la altura de la torre Eiffel) con bastante éxito; maniobra que se completó con el dragado de la tubería en fondos de 200 metros, mientras en la superficie se tenía olas de tres metros de alto; se probó así mismo la recuperación de la tubería en casos muy difíciles. Esta operación clave se ha realizado entre Octubre de 1955 y Abril de 1956; así pues, quedaba abierto definitivamente el camino hacia una nueva fuente de energía extraída de las aguas del mar, y llevada a cabo por la Sociedad de "Energía de los Mares".

Hay países que están favorecidos por una cantidad de agua que abastece sus exigencias, pero en las zonas de mayor aridez, como algunas de las costas de países tropicales y subtropicales, siendo el Perú uno de ello, una parte de la energía es utilizada en la conversión del agua de mar, como se observa en Lobitos, San Juan, etc. Si hubiesen capas acuíferas, se ven obligados a menudo a realizar trabajos de aducción y conducción muy costosos, con los cuales se lleva el caudal requerido que casi siempre es insuficiente. El mismo método de utilización de cisternas -siendo estas generalmente bien mantenidas y limpiadas con

frecuencia, están supeditadas a las caídas de lluvias; ahora bien la construcción de pozos tiene una serie de factores que dependen de las condiciones geológicas locales: porosidad de los terrenos, profundidad de los niveles acuíferos (factores que determinan el costo inicial de perforación) y que tienen un fin, el cual es un alto costo de instalación. Por otro lado, la instalación de grupos electrógenos para la producción energética, realiza consumos grandes de Fuel-Oil a razón de 500 grs./Kw. que ocasiona un escape de divisas al extranjero. Así mismo, no se debe perder de vista que el carbón y el petróleo constituyen la materia prima en la química orgánica y en la fabricación de plásticos, fibras textiles, silicones, etc.; mejor dicho, es materia prima en la producción de sintéticos.

Indudablemente que los trabajos nombrados en párrafos anteriores daban un paso más a la obtención del agua fresca proveniente de la de mar, según se puede apreciar en las cinco posibilidades que ven los hombres de ciencia franceses en la construcción de esta Central-piloto:

- 1.- Producción de agua dulce en grandes cantidades (cerca de 7,000 toneladas cada 24 horas para el primer grupo de 3,500 Kw.), por la condensación del vapor de agua del mar en condensadores de superficie; ésta perspectiva se dió a conocer en Nueva Delhi, en Septiembre de 1954, durante el Congreso de Zonas Aridas, problema al cual se hayan abocado los especialistas americanos.
- 2.- Producción de sal marina en grandes cantidades, un ca-

mino en la industria química, y también para la industria de conservación y transformación de madera por la aplicación de la soda y cloro provenientes del mar.

- 3.- Debido al progreso de la Ciencia en el campo de la utilización de la energía solar, las posibilidades de aumentar la producción de la Planta.
- 4.- La climatización por el uso del agua fría del fondo del mar.
- 5.- Una extensión de la utilización de la energía que se pierde, o en otras palabras, la recuperación de energía latente actualmente perdida, ya sea en las aguas cálidas residuales industriales, o por las fuentes cálidas.

DESTILACION DEL AGUA DE MAR

Han visto que la Sociedad de "Energía de los Mares" procedió a la construcción de una Central-piloto en Abidjan en la Costa de Marfil con una potencia nominal de 10,000 kW_s brutos, y 7,000 kW_s. netos en dos grupos de 3,500 K_{ws}. netos cada uno, y cómo utilizando la diferencia de temperatura entre las aguas superficiales, desde un fondo de 420 mts. en el mar, podían convertirla en electricidad y obtener las posibilidades antes nombradas.

La primera posibilidad es el tema de la presente tesis y, por lo tanto, será necesario ahondar un poco más en la explicación del ciclo termodinámico producido, que no es otro que el

hacer hervir el agua de la superficie (a 30° más o menos) en un circuito que está bajo un vacío (0.04 Kg/cm² más o menos) que, como se observa, es bastante elevado; el vapor que se produce pasa a un condensador enfriado por las aguas profundas (a 8°C. más o menos) pasando a través de una turbina acoplada a un alternador que ella hace girar.

Los condensadores previstos originalmente son condensadores por mezcla; el agua que se obtenía por la condensación del vapor se perdía, pero sustituyendo en uno o en los doce sectores de condensación del sistema, un condensador por superficie del tipo multitubular al condensador por mezcla, se adquiere agua dulce.

Se considera por esto dos casos:

1.- CUANDO LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA DEL AGUA ES MAYOR DE 15° C.

Es decir, entre la superficial y la que proviene del fondo. Se interesan en combinar la producción de fuerza motriz y la de agua dulce a partir de la de mar, pudiéndose dosificar cada una de ellas para satisfacer las necesidades que se requieren y equipar los condensadores por superficie en un número de sectores necesarios para la producción del agua destilada, evitándose en lo posible que esto último ocasione los gastos de amortización del suplemento de precio de los condensadores por superficie respecto a los condensadores por mezcla, que ellos están reemplazando. Por esto se ob-

tendría una rebaja en el costo de producción del agua dulce.

2.- CUANDO LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA DEL AGUA ES MENOR DE 15° C.

En este caso no sería considerada la producción de fuerza motriz pues como el vapor tiene una débil condensación; debido a la poca diferencia de temperatura, traería consigo el diseño de una turbina de dimensiones gigantescas; solo tendría interés la producción del agua dulce. El precio será más elevado que el caso anterior pero se asegura que sería menor que los que se obtendrían en los procesos de destilación comunes. Es posible conseguir, aun en este caso, un caudal de 200 Ton/h. de agua, con un beneficio de por lo menos 1/3 sobre el costo previo en relación con los mejores procedimientos.

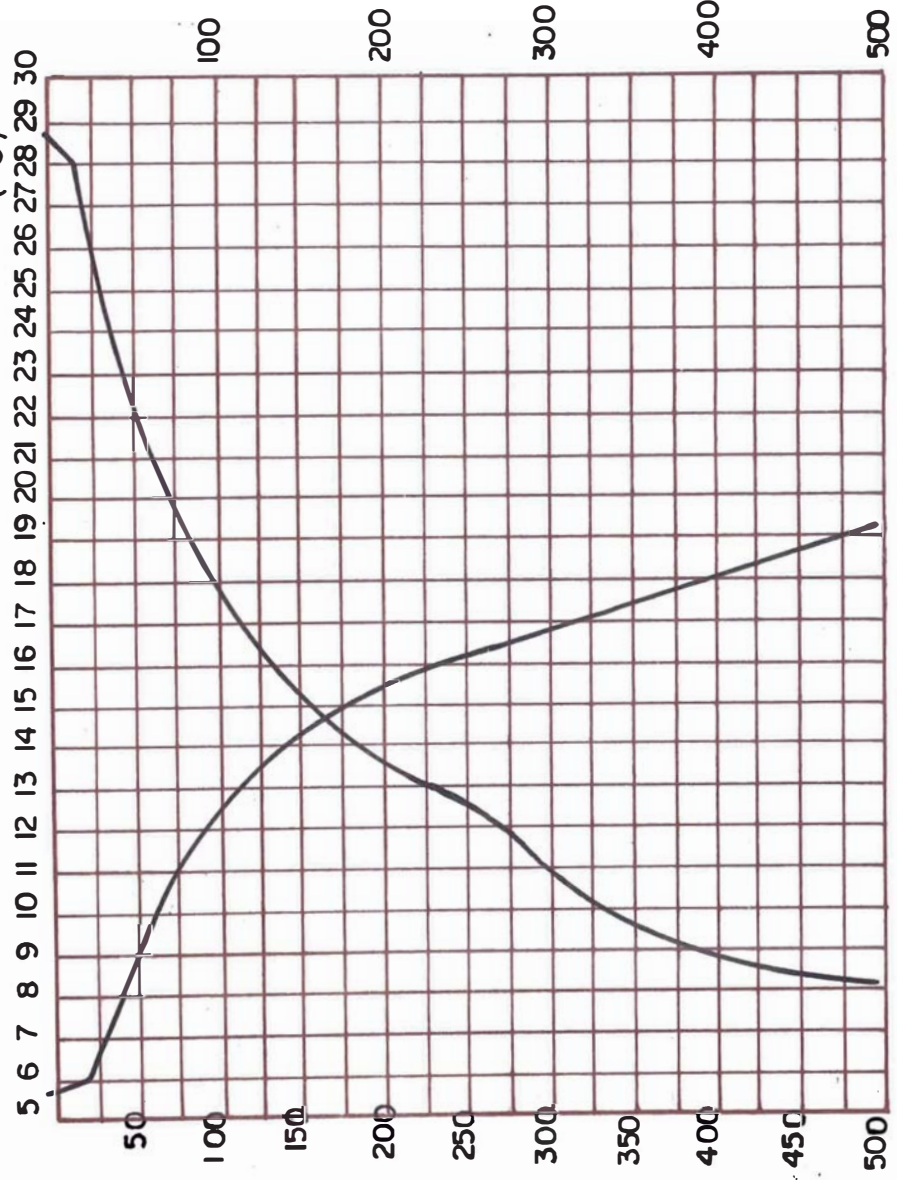
No es necesario que la diferencia de temperatura se mantenga constante sino que la diferencia promedio de ellas sea la constante y el procedimiento será siempre práctico si la diferencia varía de una estación a otra, de manera de poder conservar el mismo promedio. No sería imposible admitir una diferencia un poco menor (en temperatura) al valor previsto, en el mismo orden de ideas. Por ejemplo con un agua un poco fría, si la menor profundidad de la cual se extrae permite tener ventaja sobre el costo de la tubería -parte importante en los gastos iniciales- ésta economía puede compensar la pérdida sufrida en la

DENSIDAD

1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035
VARIACION DE TEMPERATURA

Golfo de Guinea
(24-11-48)

Estación: R
de Pierre Idrac.



producción (estando ésta ligada a la diferencia de temperatura).

Por supuesto que el agua dulce es apreciablemente barata en el primer caso, como se manifestó anteriormente, pues se ha combinado la producción de energía eléctrica, que pagaría el costo de la Central, mientras que la producción de agua dulce partiendo del agua de mar ocasionaría un gasto adicional por los condensadores de superficie, reemplazantes de los de mezcla. Para el presente caso, tratándose de la Central Eléctrica de Abidjan, el bombeo de 30 Ton/seg. de agua tibia a 30°C. (por ejemplo) y de 10 Ton/seg. de agua fría a 10°C. permiten obtener 11,000 kWs. brutos de los cuales 3,900 kWs. serán absorbidos por los auxiliares (las bombas, el extractor de aire, consumen en conjunto 1,000 kWs. y 700 kWs. respectivamente para el agua tibia, y 2,000 kWs. además de 200 kWs. para el agua fría).

Por otro lado, la evaporación parcial (bajo 27 mm. de mercurio, con 30°C. de baja en el evaporador) de 300 lts/seg. de agua tibia daría 6 ton/hora de agua tibia tratada, 600 tons/hora de vapor por condensar (más de 14,000 m³ al día). Se considera que se necesita 300'000,000 de francos como adición para equipar la planta con condensadores por superficie, y con un interés del 5% anual, para amortizarlo en 30 años, a un tipo de 6.5% a un pago anual de 19'500,000 de francos para la producción de 600 ton/hora de agua condensada^{oo}.

Si el funcionamiento fuese de 8,000 horas al año, la pro--

^{oo} Tómese \$/ 6.50 para cada 100 francos (en cálculos de costo).

ducción anual sería de 4'800,000 toneladas de agua dulce, que deberán ser gravadas en cuatro francos por ton., para amortización y mantenimiento. Aun cuando se obtuviera agua dulce desde los condensadores por mezcla, de todas maneras el precio resultaría ventajoso.

Ahora bien, si se considerase el caso (2) anteriormente mencionado, con una producción exclusiva de agua dulce, para una diferencia de temperatura que llegue máximo a 15°C. el precio de agua destilada será naturalmente más elevado pero también interesante. Por ejemplo, si se tiene una producción de 264 ton/hr. de agua destilada que corresponde a una baja de temperatura de 2° C. en el evaporador, para un caudal de agua fría de 5 m³/seg. y de 21.25 m³/seg. para el agua tibia, se invertirían 485'000,000 de francos, sin incluir el costo de la tubería de aducción de agua fría, muy variable según el lugar. En cambio, si utilizamos el segundo sistema, en 4° C. de baja en el evaporador las mismas inversiones llegarían a 410'000,000 de francos, para una producción de 200 ton/hr. de agua dulce.

Los gastos de explotación se componen: de la energía utilizada por las bombas de circulación y del extractor de aire; son pues funciones del lugar donde se instalen las maquinarias o, en otras palabras, donde se encuentre ubicada la central o fábrica, así como los gastos de las primeras inversiones. El largo de la tubería no debe exceder de 4 kilómetros para que el gasto de energía no exceda de cinco kws/hr. por tonelada en el primer sistema, y de 4 kws/hr. por tonelada en el segundo, lo que

daría un gasto de 17.50 francos en el primero y de 14.00 francos en el segundo, considerando un costo de 3.50 francos para el Kw industrial. Deberán tener en cuenta que este precio puede aumentar, dependiendo todo del tipo acordado para la amortización, lo mismo que el mantenimiento de las instalaciones; el costo de producción será siempre interesante en comparación con el de métodos conocidos; si las condiciones naturales del lugar son favorables se podría considerar un precio intermedio entre los dos extremos anotados, correspondiendo por supuesto al primero como el más favorable.

Es importante en el futuro el uso de Centrales Mareotérmicas para la obtención de energía y de agua dulce; la idea de M. Camilo Rougeron que consiste en provocar por medio de explosiones subterráneas de bombas de 20 megatoneladas de potencia la formación de cámaras termonucleares de 5,800 M es muy sugerente; si estas bombas explosionaran a 2,150 metros de profundidad fácilmente pueden Uds. imaginarse la cantidad de calor almacenado por las rocas del subsuelo debido a la explosión atómica. Esta cámara, o embudo, subiría de 60°C. a 80°C. la temperatura del agua de la laguna de Abidjan y el rendimiento quedaría aumentado en 2.5 a 3.5 veces; lo mismo que la potencia bruta producida por el caudal de agua sería de 6 a 12 veces mayor. En este caso se podría considerar que la producción de agua dulce sería casi gratuita pues la rentabilidad de las instalaciones serían satisfechas por la energía producida.

UTILIZACION DEL POTENCIAL TERMICO DEL MAR EN LA PRO-
DUCCION DE LA ENERGIA Y DEL AGUA DULCE

La capa o la parte superficial del globo terráqueo, única parte perfectamente medible, está formada por volúmenes de materias de diferentes temperaturas, según los informes e investigaciones realizadas por los geofísicos y los oceanógrafos. Se ha demostrado así mismo que las masas vecinas entre sí tenían marcadas diferencias de temperatura.

Toda temperatura relacionada a grandes masas constituye por sí misma una fuente de energía, al igual que toda gradiente en energía mecánica "energía de posición, energía de presión, energía cinérgica". Estas gradientes aprovechables están limitadas por las pérdidas ocasionadas por el ciclo termodinámico o mecánico de transformación.

Entre todos los fluidos, el más importante, a la vez que el más abundante y con marcada diferencia de temperatura, es indudablemente el agua de los océanos, que los hombres de ciencia han estudiado en varios proyectos y en tentativas infructuosas entre las guerras de 1914-18 y 1939-45.

Existe indudablemente zonas entre las cuales no hay una marcada diferencia de temperatura, como en las zonas de grandes latitudes y en el vecinaje que se tiene con el fondo de las grandes profundidades, pero se puede asegurar que la regla es general en las latitudes débiles o intermedias, siendo la gradiente

de temperatura más acentuada en las zonas tropicales, donde se encuentran diferencias de 20° C. (entre las aguas superficiales y profundas de 500 a 1000 mts) (1,650 a 3,300 pies).

El ministerio de la Francia de Ultramar, en 1942 emprendió un estudio sobre esta fuente de energía, a pesar de las tentativas no muy favorables de G. Claude en 1926 y 1934, pero la fuente de esta energía tan inmensa e inagotable, hicieron que se reiniciara este estudio en conjunto con el Centro Nacional de Investigación Científica. Se nombró una comisión de sabios y técnicos en la materia, llegando después de 6 semanas de estudio a una conclusión favorable, lo que indujo a la creación de la Sociedad de "Energía de los Mares" por el gobierno de Francia, quedando encargada de los estudios, ensayos, y la puesta en marcha de la Central Mare-Térmica de Abidjan en la Costa de Marfil.

O sea que la producción de corriente eléctrica fué el fin de estos estudios que, luego, dieron a conocer las posibilidades de obtener agua destilada revelando que el agua de los Océanos es también una fuente natural de agua dulce.

PRODUCCION DE ENERGIA

SELECCION DEL FLUIDO MOTOR

La "Caldera" de una máquina que utiliza la energía térmica del mar es calentada por las aguas superficiales a 28°C. (82°F.) más o menos a la vez que el condensador es enfriado por aguas a 8° C. (46°F.) más o menos, extraídas del fondo del mar. La utilización de este flúido puede realizarse sin intermediarios, es

decir: caldera, turbina y condensador es colocado bajo vacío, realizándose la presión motriz por la diferencia de presiones absolutas del vapor de agua a las diferentes temperaturas.

Pero como estas presiones son bajas, es necesario la utilización de grandes maquinarias; esto evidentemente debe evitarse, lo cual se obtiene por la utilización de un fluido cuyas tensiones de vapor a las temperaturas dadas sean favorables; por ello, es preciso pasar las aguas calientes y frías a través de "cambiantes" de muy grandes superficies, debiéndose tener una pequeña pérdida de carga del agua de mar que circula por ellos, para que no se produzca una pérdida de carga excesiva en las bombas de circulación.

Por el momento, los estudios llevados a cabo por la sociedad de "Energía de los Mares" únicamente ha orientado a éstos, sin la utilización del fluido intermedio, sino a la utilización directa del vapor de agua.

DIFERENTES TIPOS DE CENTRALES

Como manifestamos al comienzo, el mayor problema era la traslación del agua fría de los fondos hasta la Central (colocación de la tubería); este problema es difícil por los caudales que hay que transportar ($10 \text{ m}^3/\text{seg.} = 355 \text{ pies cúbicos/seg.}$) para una máquina de 7,000 kW. netos, al tiempo que se necesita perder la menor energía en el curso del bombeo; por ello es forzosa la utilización de grandes diámetros (2.50 mts. = 8 pies para 7,000 kW. netos). Dificultad del problema es la distancia casi siempre grande, que se tiene desde la orilla hasta la pro-

fundidad de 400 mts. (1,300 pies). Se presentan entonces dos soluciones:

- a.- Que la Central y las máquinas se construyan en tierra y se conduzca el agua fría por una tubería colocada en el fondo del mar; para ello es necesario que la plataforma o planicie continental sea lo bastante angosta para evitar un mayor costo en la canalización.
- b.- Que las máquinas se construyan sobre una plataforma flotante, siendo conducida el agua fría por una tubería vertical suspendida, y la energía enviada a tierra en forma de corriente eléctrica por medio de un cable.

Por ahora se está estudiando la primera solución, presentándose numerosos problemas antes de establecer el proyecto, entre ellos los que mencionamos a continuación:

- 1.- En el mar, como ya se ha manifestado, está formado por capas horizontales de diferentes temperaturas que descienden de arriba hacia abajo; se desconocía si al aspirar la zona horizontal de una cierta temperatura se aspiraría también las otras capas vecinas, produciéndose mezclas, lo que elevaría la temperatura del condensador.
- 2.- No se conocía perfectamente las condiciones del vapor o mejor dicho de la evaporación del agua a 28°C. El estorbo de los evaporadores, su mejor forma, su prima-je, la irreversibilidad del fenómeno, debían estudiar-

se experimentalmente.

- 3.- Se disponía de los estudios y pruebas de Rateau, en el año 1929, que le fueron encomendados por G. Claude, para la extracción del aire necesario para el mantenimiento del vacío en el circuito motriz. Estas pruebas habían demostrado la posibilidad de utilizar extractores rotativos de gran rendimiento, bastando adaptar sus resultados a las potencias consideradas.
- 4.- La construcción de turbo-alternadores salía completamente de las normas clásicas; cada grupo comprendía una rueda turbina única, de grandes dimensiones, y su estructura sólo podía imaginarse; además la cubierta estanca, como se encontraría bajo un vacío importante, debería tenerse en cuenta para su estudio y experimentación.
- 5.- ¿Cómo construir una gran toma de agua fría y colocarla en el fondo del mar a varios metros de profundidad?

¿Cómo se resolvieron estos problemas? Brevemente se les explicará la forma como se tomaron las soluciones de los problemas:

FUNCIONAMIENTO DE LA TOMA DE AGUA FRÍA

En este problema había dos puntos de vista: el primero decía que la aspiración como un líquido homogéneo se efectuaría en toda la profundidad del mar; el segundo sostenía que sólo se aspiraría la zona o capa horizontal donde estaba el orificio de

toma. Pero, teniendo en cuenta la estratificación de las capas y la diferencia pequeña de densidades, podría considerarse que la verdad se encontraba entre estos dos puntos de vista, y que en realidad se aspiraría una capa de cierto espesor de ambas partes de la toma. Estos estudios fueron confiados a los laboratorios de los Talleres Neyret Beylier & Piccard Pictet de Grenoble.

Se demostró que podía reemplazarse la gradiente de temperatura por una gradiente de densidad equivalente; se conoció por los estudios de casos simples las leyes y las invariantes de similitud. Con estos resultados se llegaron a las conclusiones, sin tener que realizar pruebas en modelos reducidos del valle submarino en el cual se encontraría la toma de agua fría.

La Ley demostró, para el caso de Abidjan, que para un caudal de $80 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (2,825 pies cúbicos/seg.) se tendrá una capa de un espesor máximo de 80 mts., es decir, de 40 mts. a ambos lados de la toma. Existe entonces la posibilidad que el agua aspirada tenga la misma temperatura que aquella que se encuentre en el estado estático del punto interesado.

EVAPORACION DEL AGUA A BAJAS TEMPERATURAS

Se puede considerar que son desconocidas, pues en realidad se sabe muy poco de las condiciones de evaporación a temperaturas bajas. Por ello fué necesario recurrir a experimentos sistemáticos para poder determinar las características del dispositivo de auto-evaporación, que no debe causar en el circuito de

agua caliente sino una pérdida de carga despreciable y medir la pérdida de energía debida a la irreversibilidad del fenómeno de evaporación.

Estas pruebas se llevaron a cabo en las usinas de Bercy, bajo la dirección de M. Nisolle, quien es profesor de la Escuela Central de Artes y Manufacturas. Se realizaron a escala semi-industrial en un equipo que podía evaporar y condensar 6,000 kilogramos (13,200 libras) de vapor por hora.

Para no tener dos fuentes de temperaturas diferentes se hizo en circuito cerrado, siendo en agua cálida a 30°C. (86°F) , que salía del evaporador a 27°C. (81°F), comprimida con la ayuda de termo-compresores antes de su entrada al condensador. Los errores por las diferencias de tensiones de vapor indicadas por las tablas, se eliminaron trabajando a una misma temperatura.

Se pudo llegar a la conclusión que tanto las pérdidas de energía del vapor como en el agua eran mínimas cuando el agua salía en chorros verticales de surtidores de sección rectangular.

Se puede indicar que la pérdida de energía de vapor no es sino del orden 1/12 de la baja de presiones media, entre el evaporador y el condensador.

EXTRACCION DE LOS GASES DISUELTOS EN EL AGUA

Se sabe que en los condesadores de las máquinas de vapor clásicas se puede mantener el vacío, por las máquinas clásicas de mal rendimiento, ya que la cantidad de aire es pequeña y porque la importancia es relativa referente a la presión parcial

del aire que puede admitirse en un vapor que se encuentra a temperatura elevada.

En los condensadores por mezcla debe tenerse en cuenta que el aire que se extrae no proviene únicamente de los retornos por las uniones, pues procederá también del aire desprendido del vapor de escape.

Ahora bien, en un condensador por mezcla de una Central de Energía Térmica de los Mares las cantidades de aire son inmensas pues no sólo habrá de las producidas por el retorno (por las uniones) sino también del aire contenido en las masas de agua cálidas y frías que se desprenderán en parte.

Por la importancia biológica, las cantidades de aire en el mar son bien conocidas (gas en general) y por lo tanto se puede conocer la cantidad de gas por extraerse en la instalación. Se sabe también que en estos gases se encuentra mezclado el vapor, pero ello se puede eliminar por medio de refrigeradores que lo condensan en el aparato de extracción y se le sacará sin gasto de energía.

Por otro lado, se puede disminuir en importantes condiciones, el trabajo de compresión de los gases, absorbiendo la mayor parte a una presión elevada 0.150 kgs/cm^2 (2.13 libs. por pulg²) en los desgasificadores por donde pasa el agua cálida antes de su llegada al condensador. Los desgasificadores han sido estudiados por el Laboratorio Nacional de Hidráulica de Chaton. Se pudo establecer en una estación de prueba especialmente concebida

la influencia de los parámetros principales que influyen sobre la velocidad de desprendimiento de los gases.

Pero a pesar de todas las precauciones que se toman, la cantidad de gases que queda es muy importante, pues los eyectores normales absorberían una potencia prohibitiva. Es conveniente en este caso utilizar un compresor de aire tipo Rateau, que fué puesto a punto por el célebre ingeniero antes de su muerte.

El compresor ha sido adaptado por la sociedad Rateau en las realizaciones de los estudios en curso, y su rendimiento es tal que sólo absorbe 1/15 de la potencia total producida por la turbina.

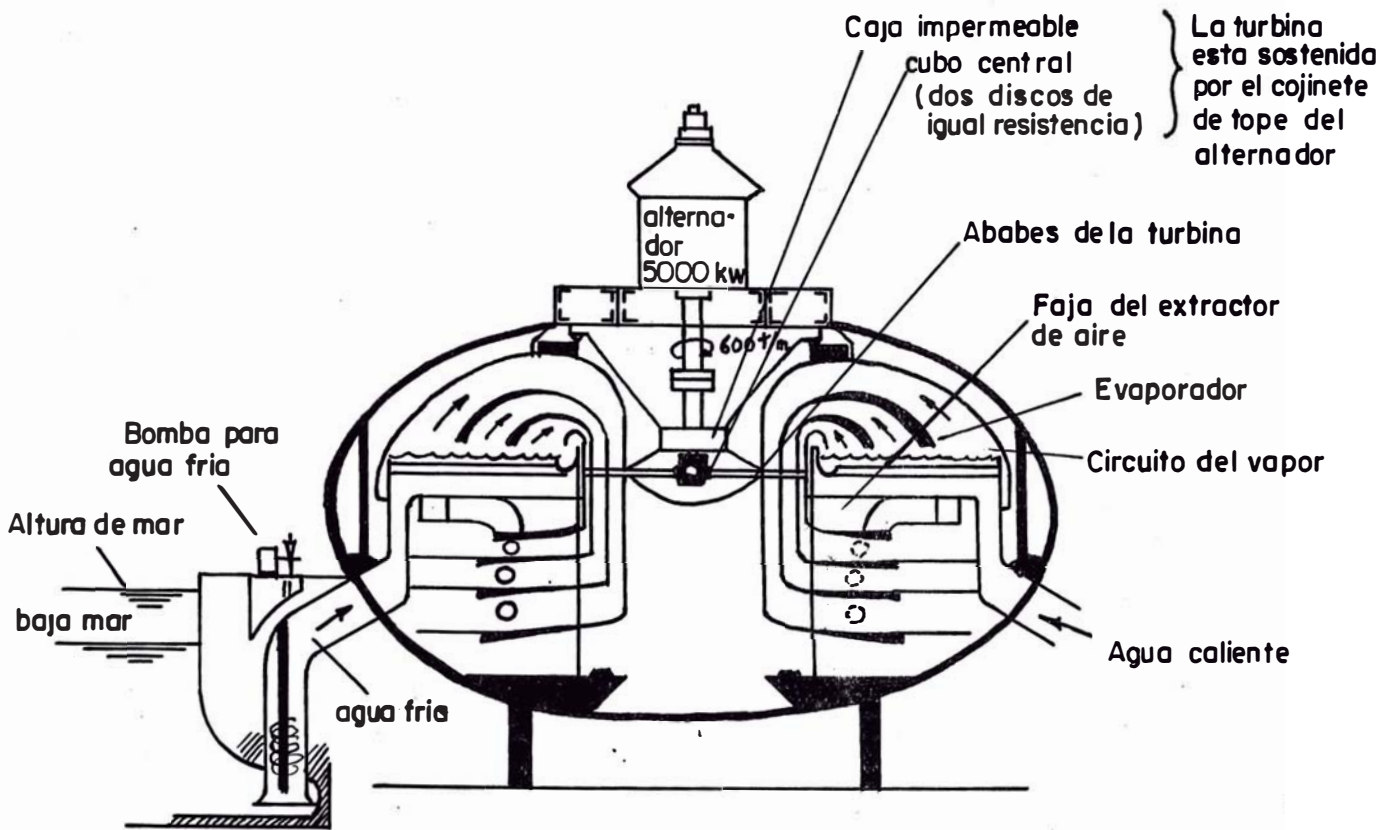
CONSTRUCCION DE LOS GRUPOS TURBO-ALTERNADORES

El grupo turbo-alternador se encuentra en un sitio interior mantenido en un vacío casi perfecto, con excepción del alternador.

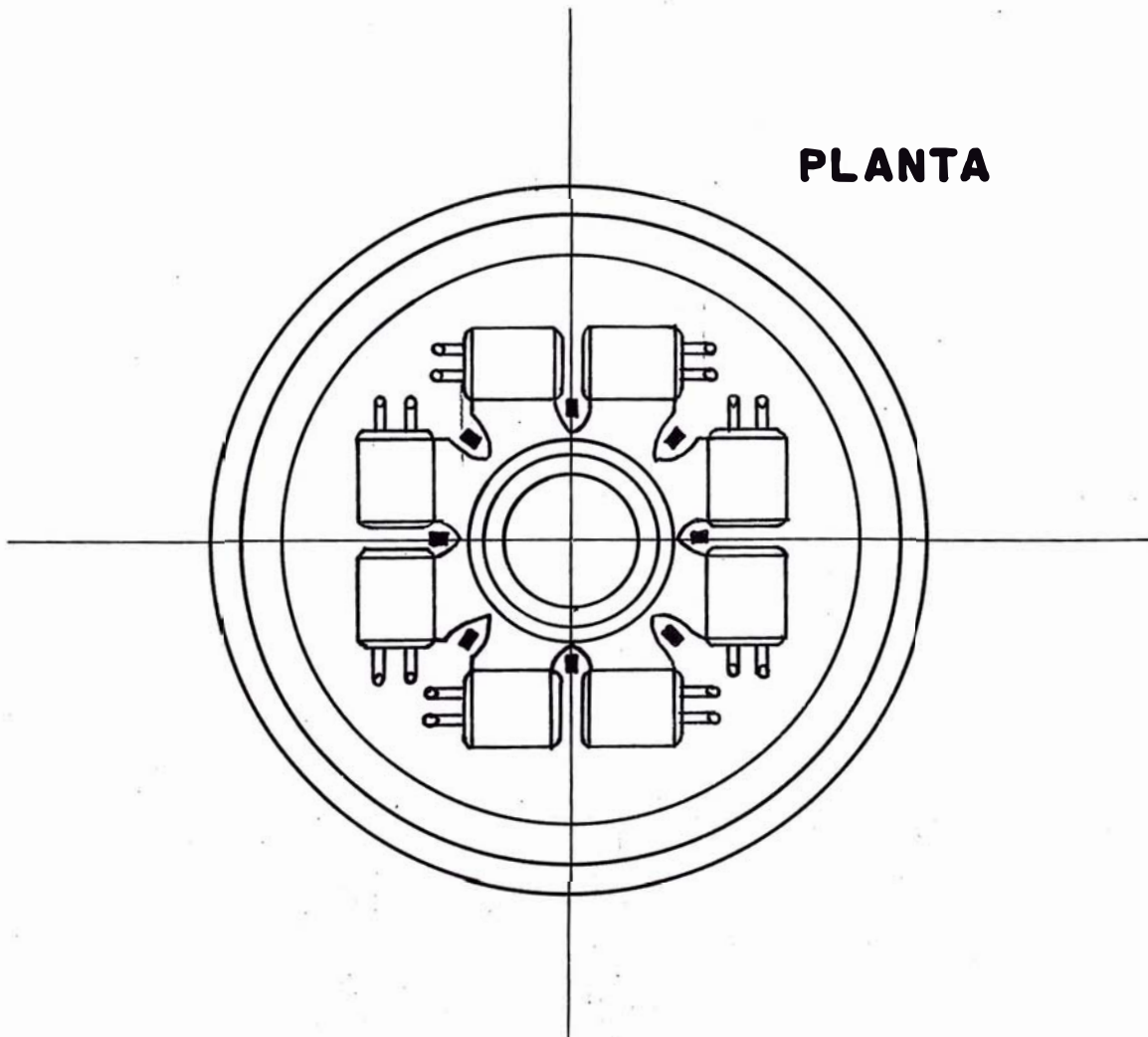
En razón de que la presión uniforme exterior (10 ton/m^2), era importante, se tuvo que dar al recinto la forma que se acerca lo más posible a la esférica, en la que teóricamente no se manifestarían sino retenciones de compresión.

Esto hizo que se concibiera una forma elíptica de revolución con un eje vertical pequeño, que se une en su parte inferior a una parte de la esfera. En la parte superior hay un cono metálico estanco que obtura el pasaje necesario para la instalación de la turbina.

CORTE DE LA CENTRAL - COND. POR MEZCLA



PLANTA



El recinto es de concreto y se ha impermeabilizado para man tener el vacío por un revestimiento metálico que se enfría por un chorro de agua fría o también por un revestimiento de mate-- rial plástico complejo que se está experimentando.

Dos canales de nivel constante y en forma de herradura ro-- dean al grupo; por este punto se efectuará la aducción a la nue-- va toma de agua cálida.

Se necesitaba hacer trabajos extras en relación con la téc nica de construcción conocida para la instalación de una turbi-- na en la Central de energía térmica de los mares, pues para una baja tan pequeña de calor entre el evaporador y el condensador, la turbina no necesitaba sino una rueda de grado medio de reac-- ción creciente, desde la base hasta la periferia. En las turbi-- nas clásicas de vapor existen ruedas que tienen una relación de presión hacia arriba y hacia abajo del orden de tamaño necesario pero su potencia no ha excedido nunca hasta ahora el cuarto de la potencia mínima, por la que se puede considerar la utiliza-- ción de la energía térmica de los mares, y que está impuesta pa-- ra problemas de buen funcionamiento de los auxiliares, particu-- larmente del extractor.

El problema se resolvió por medio de la construcción, per-- fectamente estudiada, de una gran rueda de ocho metros de diáme-- tro (26 pies) para una potencia de 5,800 kW. que giraba a 600 r.p.m. y que fué aligerada al máximo. El eje es del tipo clási-- co (el que acciona al alternador), y atraviesa una caja estanca cerrada por una empaquetadura hidráulica.

CONSTRUCCION DE LA TOMA DE AGUA FRIA

Debe tenerse en cuenta que el sitio escogido frente a la costa de Marfil para la construcción de la Central, cerca de Abidjan, es bastante favorable por el hecho de existir "Pozo sin fondo", formado por una grieta, en la cual se llega a los 400 metros de profundidad a una distancia de 4 Kms. de la costa.

Pero en realidad la canalización tendrá un largo mayor, ya que no debe estar en su gran parte a poca profundidad, para una mejor manipulación. Y comprenderá:

- 1.- Una sección (la primera), que estará sobre camas para atravesar la zona del rompe-olas, será de planchas de acero unidas por elementos (bridas empernadas) y será colocada desde la cota 0 (cero) hasta la cota -14.
- 2.- Una segunda sección constituída por elementos de 50 metros de largo (165 pies), de planchas delgadas que se encuentran soldadas a una armazón metálica, y unidas por secciones de jebe armado de dos metros con sesenta de largo (2.60 mts.). Esta segunda sección comprende más de los tres cuartos de la tubería y se encontrará instalada desde la cota -14 hasta la -110, y
- 3.- Por fin, la última sección que vá desde la cota -110 hasta -420, en donde se efectúa la toma de agua.

Debe tenerse siempre en cuenta que los elementos de jebe armado (uniones) será mayor que los elementos rígidos que constituirán la tubería. La instalación de esta tubería, como ya

hemos podido apreciar, constituye un problema de ingeniería civil bastante interesante. En realidad, la primera parte no ofrecía problema debido a que era colocada a poca profundidad, por medio de una cama hecha por una draga absorbente de gran rendimiento.

El problema se presentaba en forma bastante árida, para la colocación de la segunda y tercera sección, pues estas secciones eran remolcadas y colocadas en mar agitado. Debe tenerse un completo dominio de la maniobra por efectuarse. Para esto se resolvió enganchar la tubería a flotadores, por medio de cables maniobrados por winches, el enganche se hacía por el uso de balancines que abrazan a las secciones flexibles. Estas uniones flexibles permiten que los elementos tomen los ángulos, unos con respecto a otros; ello permitía la colocación de partes de 300 metros (985 pies) de largo, con un reducido número de flotadores y realizar la inmersión de la tubería sin que fuera necesaria la coordinación de maniobras entre los flotadores. La unión de cada una de las partes, a las otras, se realizaba por buzos que trabajaban a poca profundidad.

La tercera parte se hará mediante una instalación un poco diferente de la segunda; se aumentará el número de puntos de enganche a la vez que se utilizará un cierto número de pequeñas boyas auxiliares.

Será necesario no imponer a la tubería retenciones de flexión demasiado grandes en el curso del manipuleo, debido a la acción del oleaje en el flotador. Por ello se ha construído un

flotador insensible a esta acción, cuya base, en su mayor parte se encuentra sumergida. La flotabilidad está asegurada por cajones verticales de poca sección horizontal de modo que las variaciones de empuje hidrostático son muy pequeñas.

El rendimiento de este tipo de flotador ha sido probado, como se dijo anteriormente, en septiembre de 1947 en Brest, y las oscilaciones no excedieron de 30 cms. para olas de 2 metros de altura.

Observemos ahora algunas apreciaciones para el costo de instalación para una Central que emplearía la energía térmica de los mares. Con respecto a una Central de tipo hidroeléctico están a la par, o sea que los gastos de primera inversión son importantes pero en compensación no tendremos gastos de combustible.

Para Francia, en relación con una Central hidráulica, tiene un interés importante en sus territorios de Ultramar: el de poder ser de una potencia pequeña, de acuerdo a las necesidades de esos territorios; en cambio, las Centrales hidráulicas no se conciben para pequeñas instalaciones en regiones en que el régimen hidrológico exige que se estudie las reservas de regularización (Zonas áridas).

Ha sido difícil, en cuanto a los gastos iniciales, hacer una comparación sobre el proyecto, por más avanzado que esté. Pero puede apreciarse por el gasto de material que entra en la construcción con respecto al peso de kW-h.

Los proyectos actuales arrojan las siguientes cifras:

Cemento	31	grs.
Hierro	68	"
Metales no ferrosos	0.2	"
Jebe	1.6	"

PRODUCCION DE AGUA DULCE

PRODUCCION ASOCIADA A LA PRODUCCION DE LA ENERGIA

A una producción de energía será fácil asociar una fuente importante de agua destilada, para nuestro caso. ¿Cómo se logrará esto? De una manera sencilla: bastará sustituir los condensadores por mezcla conocidos, por condensadores de superficie; el agua natural circulará por los haces tubulares y, después que atraviese la turbina, se condensará ahí.

Pero se presentan dificultades, aparte de aquellas que ya hemos manifestado para la producción de la energía.

1.- Es preciso que la pérdida de carga resultante en el circuito de agua fría no sea aumentado, al reemplazarse los condensadores de superficie y desechar los de mezcla. Para ello debe tenerse que la superficie de condensación S_1 , que ha sido determinada por los coeficientes de cambios térmicos resultantes, sea compatible con una sección de pasaje S_2 , que estará determinada por la resistencia del circuito hidráulico.

Por tanto, si:

Q = Es el caudal total de energía

q = El caudal del tubo

l = El largo del tubo elemental

n = El número de tubos

D = Su diámetro.

Se tendrá:

$$S_1 = \sqrt[4]{n l D}$$

J = f(q,D), f resultando de las numerosas fórmulas de pérdida de carga de los tubos lisos.

$$Q = nq.$$

S_1 estará determinada por las condiciones de cambios térmicos.

J por la pérdida de energía aceptable en el circuito de agua fría.

Q Siendo un dato de la máquina

S_2 Será dado por: $n \frac{R D^2}{4}$

Las tres ecuaciones con cuatro incógnitas, como son: n, l, D, y q dan pues un grado de libertad en la selección de las características del condensador.

La experiencia ha demostrado que puede hacerse la sustitución de un condensador de mezcla por uno tubular o de superficie sin que se modifique el tamaño del equipo, ni la diferencia de temperatura entre el agua fría y el vapor, ni tampoco la pér

dida de carga en el circuito hidráulico.

2.- El agua dulce podrá utilizarse como tal siempre y cuando no exista el "primaje", o sea el acarreo de gotas de agua por el vapor de evaporación.

Respecto a este punto, se ha presentado una verdadera atención en los experimentos hechos en la estación de experimentación de evaporación de Bercy, y los resultados han sido totalmente satisfactorios. Durante las pruebas de larga duración no hubo "primaje" pues no se encontraron percepciones en los dispositivos que para ese objeto se habían instalado. Bajo el punto de vista económico debe considerarse que la obtención del agua destilada es accesoria a la producción de la energía eléctrica. Por tanto, el costo de agua dulce recogida tendrá como base los gastos ocasionados para las maquinarias suplementarias para este trabajo, es decir, esencialmente el mantenimiento y la amortización del condensador tubular, deduciéndose de las economías realizadas sobre el condensador por mezcla.

No se consideró esta última economía pero se constató que un grupo de 3,500 Kws. puede producir 2'400,000 toneladas de agua por año y cuyo costo sería aproximadamente de 8 francos la tonelada. El material utilizado para la construcción del haz tubular está constituido de una aleación de cobre inoxidable. La velocidad de circulación en los tubos será de 2 m/seg. El coeficiente de transmisión podrá estimarse en 2,500.

PRODUCCION DE AGUA DESTILADA

Han podido apreciar que la diferencia de temperatura utilizable es de 20°C., pero debe tenerse en cuenta que hay regiones del globo terráqueo en las cuales no se dispone de una gradiente de temperatura, ya por las condiciones térmicas del mar que no se prestan, o por que las condiciones topográficas no permitirían alcanzar las profundidades aceptable con una toma de agua de una longitud razonable. Esta última debe tomarse en cuenta pues habrá casos en que las condiciones, tanto térmicas como topográficas, sean satisfactorias, pero sin embargo el costo de la toma de agua fría sería anti-económico. En este caso es preferible si se limita a una diferencia menor de temperatura.

La producción de energía bajo este punto de vista es de una rentabilidad incierta, pero la producción de agua dulce es perfectamente posible.

Como ejemplo vamos a estudiar el caso para una diferencia de temperatura de 14°. El ciclo termodinámico se efectuaría sin cambio de energía, pero la elevación de temperatura posible en el condensador se torna más importante.

O sea ΔQ_1 el enfriamiento del agua cálida y Q_1 su caudal.

ΔQ_2 el recalentamiento del agua fría y Q_2 su caudal.

Q_1 y Q_2 las temperaturas de las aguas cálidas y frías a la entrada de la instalación.

Se tiene:

$$Q_1 \Delta Q_1 = Q_2 \Delta Q_2 = RQ$$

$$Q_1 - Q_2 = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + 3.5$$

R designará el calor de vaporización del agua (580 calorías/kg) y Q el peso del agua destilada.

Si se conoce Q_1 y Q_2 todas las otras cantidades están determinadas.

A valores crecientes de ΔQ_1 corresponderán valores decrecientes para Q_1 y para Q. Hay un valor óptimo para ΔQ_1 que lleve al precio o costo mínimo de agua destilada. Abajo se muestran dos casos como ejemplo.

	<u>CASO A</u>	<u>CASO B</u>
ΔQ_1	2°	4°
Q_2	5 m ³ /seg.	5 m ³ /seg.
Q	264 ton/h.	202 ton/h.
Superficie del condensador	9,800 m ²	9,900 m ²

Según esto, el costo del agua dependerá:

- 1.- Del costo de la instalación y de la toma de agua fría.
- 2.- De la energía consumida, que estará en función de la longitud de la toma de agua fría.

Según los casos, la variación de la categoría de gastos será más marcada; por ejemplo, en el caso A el consumo de energía corresponderá a 1/3 del costo, mientras que los 2/3 restantes serán absorbidos por la amortización y el mantenimiento.

En cambio, para el caso B se presenta en otra forma: 1/4 pa

ra el mantenimiento de energía y los 3/4 que quedan para la amor
tización y mantenimiento. Es imposible dar un costo por m³ de
agua destilada, pero en las condiciones económicas actuales y en
lugares favorables puede llegar a 50 francos por metro cúbico.
(Franco nuevo a \$/ 5.90, cotización del 5 de Enero de 1960).

Por ello es necesario conocer las características natura--
les de la fuente de aguas de mar que nos son conocidas, pero siem
pre pensando que se puede mejorar. La radiación solar es importa
nte conocerla para aprovecharla en el calentamiento de aguas
superficiales, sumariamente equipadas con ese objeto. Francia
no ha terminado todavía sus experimentos en este campo, pero no
se debe de olvidar que los primeros resultados han sido alenta-
dores.

CONCLUSIONES SOBRE EL METODO FRANCES

Francia, al realizar la puesta en valor del potencial térmico del mar, pone al ingeniero ante el problema de gran variedad. Se ha ofrecido otra dificultad, que es la de no poder estudiar los problemas presentados a una misma escala, lo cual impedía la realización de un modelo reducido de usina. Por ello se realizaron estudios analíticos al igual que métodos, y resolver en esta forma los problemas por separado.

Sin embargo, la construcción de la primera Central de energía de los mares y del primer grupo de destilación que le correspondía ha salido de la fase de proyecto, para convertirse en una realidad, pues se han estudiado máquinas, tubos de dimensiones definitivas, al igual que producido y condensado el vapor a baja presión en cantidades "industriales", con los aparatos que serán definitivamente utilizados. Lo único que queda por hacer son aquellas fases que ya no presentan problemas prácticos.

Con ello podemos afirmar que se trata de una técnica nueva, pero de una técnica sostenida por una base sólida de escala experimental e industrial.

Francia, debido a su preocupación de avanzar lo más que se podía en las experiencias y pruebas hasta el límite extremo, antes de las decisiones financieras, condujo los estudios limitados a un sólo punto, al de Abidjan, y a un paso particular de usina. Pero los estudios teóricos y de investigación, seguidos paralelamente, han llevado a la conclusión que se pueden explo-

tar las grandes fuentes de energía que ofrece la naturaleza en grandes cantidades, en todas las regiones del globo.

Por el interés de agregar a este gran método los costos de las distintas piezas y aparatos que se utilizaron, el señor A. Capestan, ingeniero jefe de la Sociedad de Energía de los Mares, remitió su atenta del 31 de Julio de 1959, entre cuyos renglones (traducidos del francés) daban una idea de los costos que tenían algunos que otros de los sistemas utilizados, como por ejemplo:

Se necesitaron 14 flotadores para atender fondos de 420 metros y se utilizaron en Guadalupe 22 para hallar agua fría de 7°C. a 715 metros. El costo unitario es de 4.5 millones por flotador más 3.7 para los aparejos y 0.9 millones de costo de cables necesarios, lo que dá un total de 9 millones de francos por flotador.

La tubería de conducción de agua fría de 1.95 metros de diámetro para el proyecto de Guadalupe y que llegaba a la usina, costó 40,000 francos por metro lineal, a la cual debía agregarse los materiales de protección (costos) considerados en 10,000 francos por metro lineal.

Así, una tubería de 4,000 metros de longitud costó 200 millones de francos; por otro lado deberá aumentarse los costos de conducción, mantención y colocación de la tubería que, para el caso de Guadalupe, se elevaron a 30 millones por semana.

En fin, para los aparatos electro-mecánicos, podemos refe-

rirnos a los grupos en general, así los condensadores por superficie que permiten obtener 7,000 toneladas de agua dulce, llegaron a 275 millones de francos, los turbo-alternadores de 5,200 Kws. costaron 700 millones, las bombas y accesorios tuvieron un costo de 120 millones, y los estudios, así como desarrollos en concreto armado -al igual que los canales de alimentación- 220 millones.

Con estos datos pueden Uds. darse cuenta del costo de instalación de una Central de este tipo con la cual se obtendrían 5,200 kWs, 6,000 toneladas por cada condensador, de agua dulce, además de los sub-productos y del incremento de la industria química, la cual formaría focos industriales en la costa, así como de abastecimiento de agua para la población industrial y la industria misma, tratándose luego ésta última después de su uso, para irrigación.

O T R O S P R O C E S O S

METODO ATOMICO

Debemos ahora referirnos a este interesante método pues con él también llegamos a la obtención tanto de agua destilada como a la producción del fluido eléctrico.

En los informes presentados por la Oficina de Aguas Salinas se hace mención de éste método, bajo un contrato que se realizó con la cooperación de la División de Desarrollos Atómicos de la Comisión de Energía Atómica, como consejera, con la División de Trabajos de la Corporación Fluor Ltd. Se ha investigado la posibilidad de aplicación de la energía nuclear para la obtención de agua potable por medio de procesos de destilación.

La energía Nuclear se presenta bajo dos formas, dentro de un proceso de fisión:

- a.- Energía Cinética de los fragmentos del átomo fisionado, debiendo incluirse las partículas elementales hervidas durante la fisión.
- b.- Energía Radioactiva, bajo la forma de radiación Gamma.

La energía cinética dentro del proceso de fisión representa el 80% del total de la energía. Es lógico pues que debe pensarse en utilizar al máximo ésta fracción de energía.

Hemos visto más adelante que los diferentes sistemas utilizan las energías, ya sea en la forma de corriente eléctrica, energía mecánica, o energía a altas temperaturas; la energía nu--

clear ocupa la misma posición y con ella se obtienen plantas de poder económicas.

Por otro lado, la energía eléctrica que se obtiene desde plantas de poder o generadoras de fluido eléctrico por proceso nuclear no puede competir hasta la fecha con aquellas instalaciones que utilizan combustible. Únicamente se puede considerar competente con otras fuentes térmicas que utilizan combustible de alto costo (ya sea porque lo importan o porque su explotación es onerosa), siempre y cuando las plantas produzcan de 10 a 20 millones de galones diarios de agua destilada.

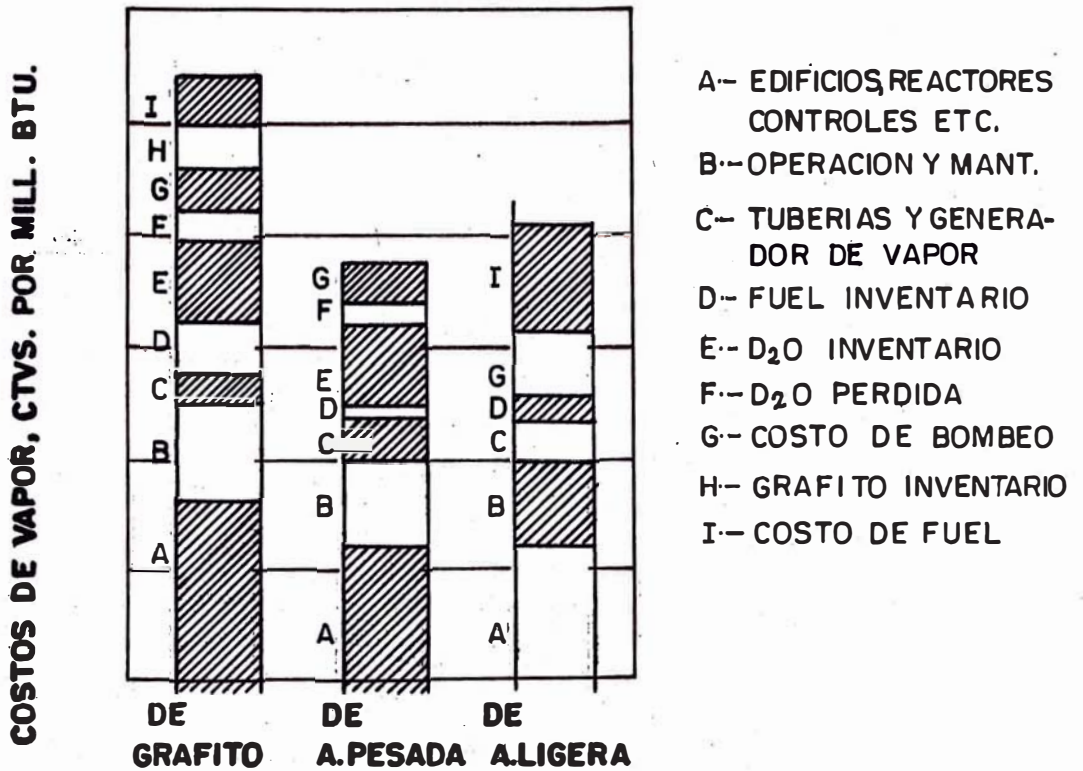
Se han construido cuatro plantas que utilizan energía nuclear, distintas entre sí en su proceso; debe considerarse que la energía requerida en la destilación de agua de mar en plantas grandes nos conduce a una escala de calor a bajo nivel; en plantas sencillas se considera que el uso de la energía nuclear es económico en comparación con otros combustibles.

Las plantas que se consideraron eran las siguientes:

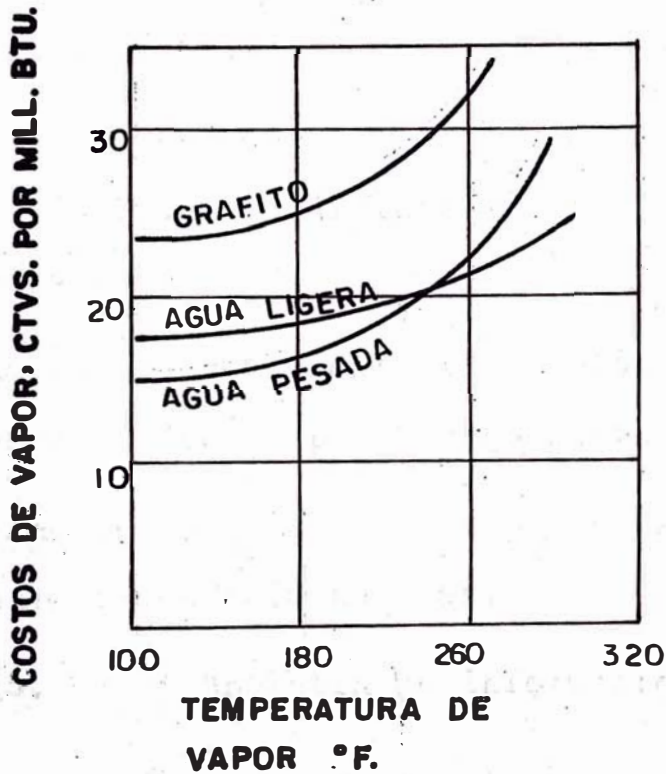
- 1.- Reactores termales, altamente enriquecidos.
- 2.- Reactores rápidos, altamente enriquecidos.
- 3.- Reactores de rápida (segura) producción, altamente enriquecidos.
- 4.- Reactores termales de Uranio Natural.
- 5.- Reactores termales, ligeramente enriquecidos.

Se ha estudiado estas posibilidades y se considera que para reactores de vapor a baja presión serán mejores aquellos que uti

COSTOS DE VAPOR PARA 3 REACTORES



COSTOS DE VAPOR POR REACTORES, VS. TEMPERATURA DE VAPOR



licen Uranio Natural.

El informe de 1957 presentaba cuatro cuadros muy interesantes sobre los estudios de costos que se hicieron al respecto.

En el primero vemos los componentes del costo de vapor para tres reactores tipos.

El primer reactor utiliza grafito (moderador), el segundo utiliza agua pesada, y el tercero agua ligera; todos ellos producen vapor a 200° Farenheit y el costo se ha considerado para una planta productora de 200 megawatt termales. Los costos son directamente incidentes a la construcción de los edificios del reactor, instrumentos de control, mantenimiento y operación, generador de vapor, flúido, costos de bombas, etc.

El segundo cuadro compara los costos de vapor en centavos por millón de B.T.U. para las diferentes plantas de los tres generadores anteriores, yendo en el eje de las abscisas las temperaturas Farenheit obtenidas.

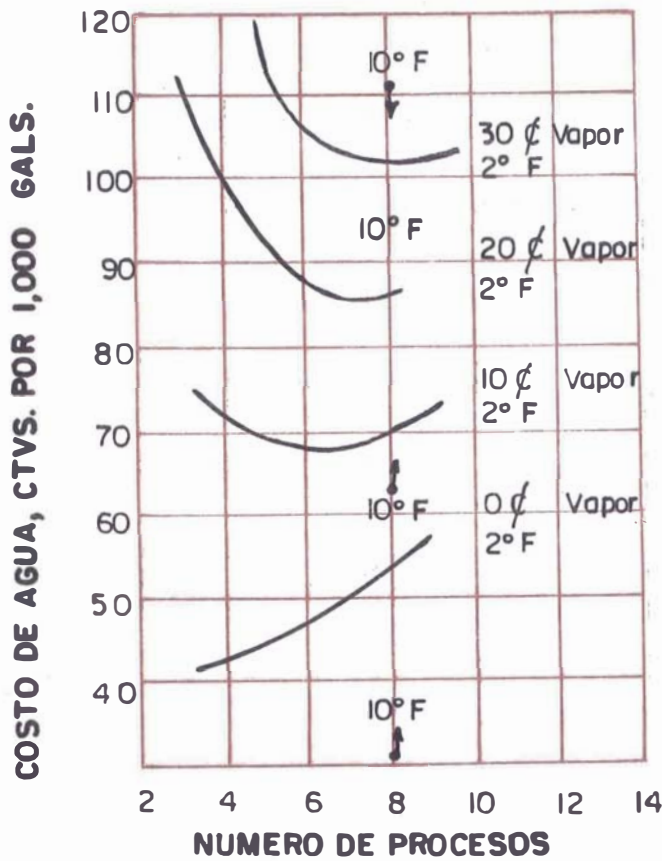
El tercer cuadro representa los costos de agua por utilización de procesos de Flash y Múltiple-efecto, en que se ha variado los costos de vapor.

Y el último cuadro representa los costos de agua versus el número de procesos o efectos por mínimo costo de vapor.

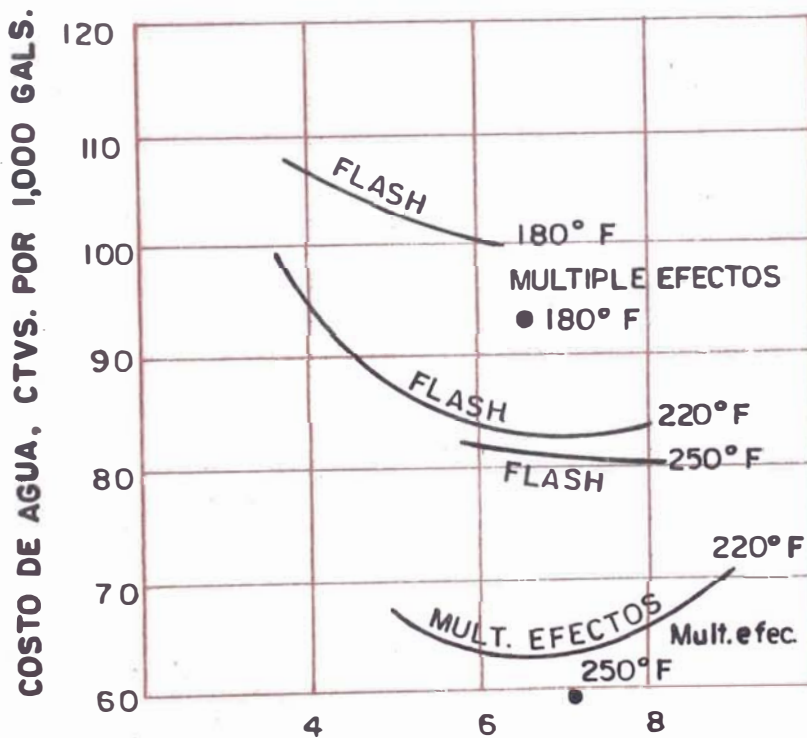
En el informe de 1959 no se hace mayor mención del proceso por utilización de la energía nuclear.

Sin embargo, en el "Boletín de Informaciones de la Junta de

COSTOS DE AGUA VS. PROCESOS FLASH, PARA VARIOS COSTOS DE VAPOR.



COSTOS DE AGUA VS. NUMERO DE EFECTOS



Control de Energía Atómica" (Enero, Febrero de 1960), presentado por la Junta de Control de Energía Atómica del Perú, aparece la traducción condensada de un artículo de la revista "Power" por Henry E. Bethon. En este artículo se hace mención al más económico de los reactores nucleares para la obtención de agua destilada, situado en Point Loma, San Diego, California (ver el esquema).

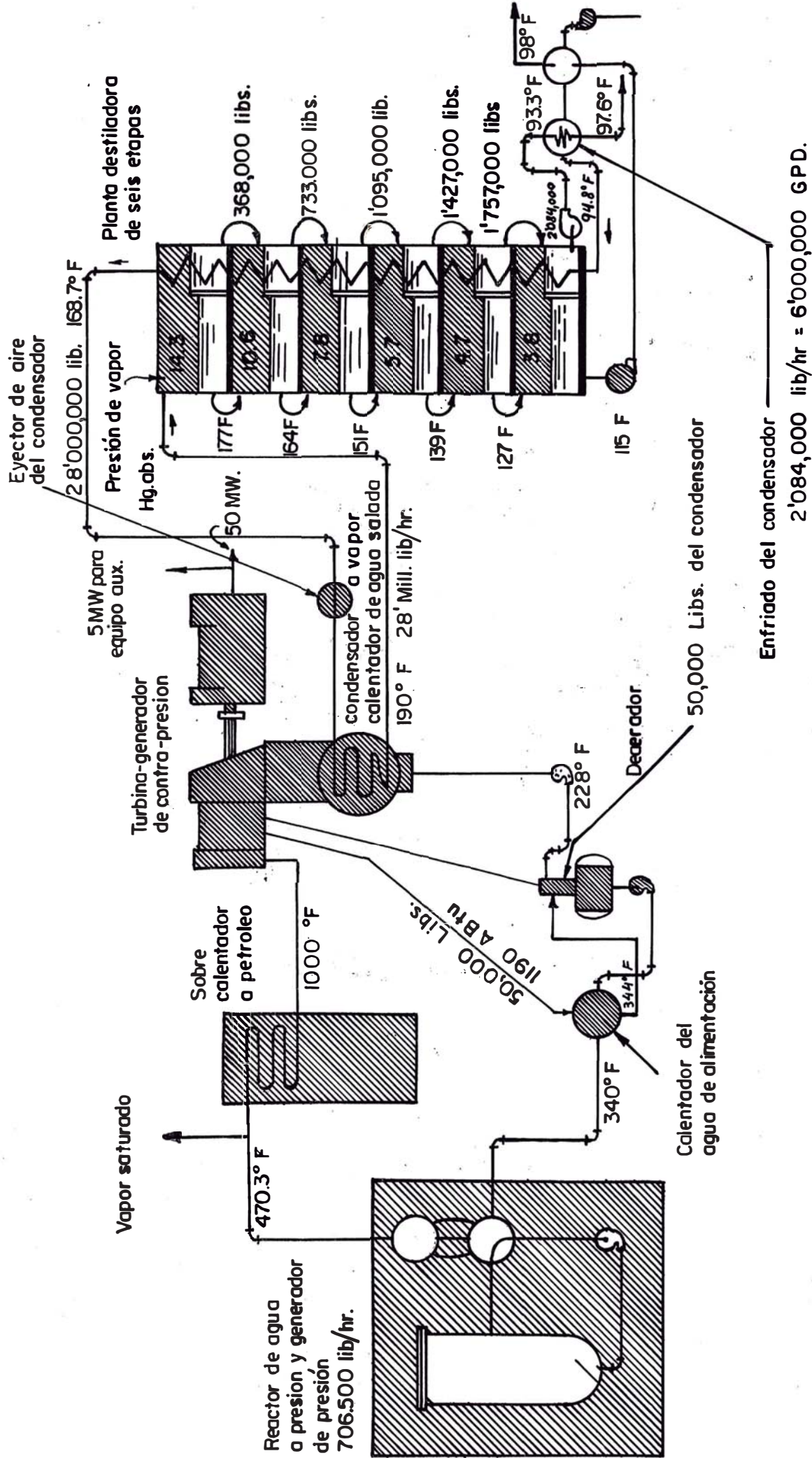
En él se dice que todos los reactores utilizaron agua a presión, con agua pesada como moderador y refrigerante, y como combustible el Dióxido de Uranio. El reactor que se utiliza hace posible la obtención de vapor saturado a 515 li/pulg² absolutas, que pasa a una turbina de 55 Megawatt (equivalente a 55,000 kWs) En esta planta no se consideró el costo de agua destilada pero llegando a la producción de ésta, se compararon los costos de producción de la planta combinada (fluido eléctrico + agua destilada) con la planta simple (fluido eléctrico). La Tabla I da los costos de la planta (la del esquema) y la Tabla II los costos unitarios del agua fresca producida por una planta combinada. La diferencia entre ambas da el costo capital para la destilación del agua de mar.

Costo de planta combinada	=	29.3 millones de dólares
Costo de planta simple	=	<u>20.5 " " "</u>
Costo para agua destilada	=	8.8 millones de dólares

Considerando que el dólar está a 27 soles se puede obtener fácilmente la cantidad necesaria en soles.

$$8.8 \times 27 = 245 \text{ millones de soles.}$$

ESQUEMA DE UNA PLANTA CON USO DE ENERGIA NUCLEAR



Esta cantidad de soles puede bajar algo considerando que las estructuras de concreto serán de más bajo costo que aquellas de los Estados Unidos, por el precio de la mano de obra acá en el Perú.

Por los cálculos realizados para una planta de 50 Mw. netos (téngase presente que la planta generadora del Cañón del Pato produce 50,000 kWs.) se obtuvieron 6 millones de galones diarios, a aproximadamente 24,000 toneladas de agua con una eficiencia del 80% de la planta.

El costo de producción de agua destilada está muy por abajo de 1.50 por 1,000 galones, que el gobierno norteamericano considera como cifra tope para interesarse en desarrollos de procesos de conversión de agua.

T A B L A I

PLANTA DE POTENCIA

1.- Capacidad eléctrica, kWs. brutos	55,000
2.- Capacidad eléctrica, kWs. netos	50,000
3.- Vapor generado, libras por hora	706,500
4.- Temperatura del agua de alimentación, F.	340
5.- Vapor que entra a la turbina, libs. por hora	656,500
6.- Temperatura de entrada a la turbina, F.	1,000
7.- Presión de salida de la turbina, lb/pulg ²	19.7
8.- Presión de entrada a la turbina, lb/pulg ²	515
9.- Flujo de salida de la turbina, lbs. por hora	585,500
10.- Temperatura a la salida de la turbina, F.	228
11.- Vapor para el eyector de aire, lbs. por hora	50,000
12.- Abastecimiento para el sobre-calentador de aceite, libs. por horas	11,200
13.- Eficiencia térmica del sobre-calentador de %	90
14.- Costo del combustible a 5 ctvs por galón/h.	\$ 74
15.- Costo del combustible a 8 ctvs por galón/h.	\$ 118
16.- Agua fresca producida, Gpd	6'000,000
17.- Agua fresca producida, Gph	250,000
18.- Calor generador en el reactor, 10 ⁶ B.T.U./h.	630
19.- Costo de planta de reactor	\$ 11'800,000
20.- Costo de la planta turbo-generadora	5'000,000
21.- Costo del sobre-calentador de petróleo	2'000,000
22.- Costo de la planta de destilación	8'000,000
23.- Costo del equipo auxiliar	<u>2'500,000</u>
24.- Costo total de la planta	\$ 29'300,000

Costo total de la obra para planta generadora de corriente eléctrica y de agua destilada:

$$\text{\$ } 29'300,000 = \text{\$/ } 820'000,000$$

Considerando a $\text{\$/ } 28.00$ el dólar.

T A B L A I I

COSTOS TOTALES DEL AGUA DESTILADA CON UN FACTOR DE
PLANTA DEL 80%

Cargos del capital, %	<u>5</u>		<u>10</u>		<u>14</u>	
Combustible, ctvs. por gl.	<u>5</u>	<u>8</u>	<u>5</u>	<u>8</u>	<u>5</u>	<u>8</u>
<u>Costos ctvs. por 1,000 gls</u> <u>de agua fresca</u>						
Cargos del capital	25.0	25.0	50.0	50.0	70.0	70.0
Combustible	27.5	46.0	27.5	46.0	27.5	46.0
Operación	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Mantenimiento	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Total de ctvs., 1,000 gls.	58.5	77.0	83.5	102.0	103.5	122.0

C A P I T U L O I V

COMPARACION DE COSTOS

A continuación veremos la comparación de costos de producción de agua potable partiendo desde el agua de mar o salina, hecha en tablas (8 Tablas), por traducción de un artículo publicado por "Ingeniería Civil" en abril de 1956, por David B. Smith, A. M. Asce y Charles E. Richheimer.

T A B L A N° I

FACTORES USADOS EN LA ESTIMACION DE COSTOS UNITARIOS

<u>Títulos</u>	Costos
Labor, por hombre-hora	\$ 2.25
Fuel Oil (combustible) por galón	0.075
Electricidad, en Kwh.	0.015
Productos químicos, por libra	
Soda cáustica, 50% NaOH (Líquido)	0.0357
Acido sulfúrico, 66° Be.	0.0167
Soda (Ash)	0.0215
Alumbre (filtrado de alumbre según especificaciones del AWWA)	0.0283
Silicato de sodio	0.0205
Cal, apagada, ensacada	0.0150
Sal sólida	0.0085

T A B L A N° I I

COSTOS ESTIMADOS PARA EL PROCESO DE EVAPORACION
DE MULTIPLES EFECTOS

<u>Títulos</u>	<u>Costos</u>
Casa de Bombeo y Laboratorios	\$ 40,000
Reservorio y tubería	20,000
Desgasificador	15,000
Evaporadores y planta de calentamiento (1.24 mgd)	2'500,000
Clorinadores, bombas y tubería	70,000
Almacenaje de sal, casas de bombeo	40,000
Ablandadores de zeolita	80,000
Disposición de salmuera	10,000
Almacenaje del agua blanda	<u>10,000</u>
Capital estimado	\$ 2'785,000

COSTO POR 1,000 GALONES DE AGUA OBTENIDA

Combustible	\$ 2.00
Labor, o trabajo	0.09
Mantenimiento de equipo	0.09
Sal	0.03
Estabilización del efluente	0.02
Capital cargado o gastado	<u>0.22</u>
Costo estimado	\$ 2.45

O sea que el costo en soles peruanos seria:

Construcción \$/ 78'000,000

Costo de producción 18.60 / m³

Nota.- Todos estos costos, al cambio de \$/ 28.00 por dólar.

T A B L A N° III

COSTOS ESTIMADOS PARA EL PROCESO DE DESTILACION

POR COMPRESION DE VAPOR

<u>Títulos</u>	<u>Costos</u>
Casa de bombeo y laboratorios	40,000
Reservorio y tubería	20,000
Desgasificadores	15,000
Unidades de compresión de vapor (1.24 mgd)	3'000,000
Clorinadores, bombas y tuberías	70,000
Almacenaje de sal, casas de bombeo	40,000
Ablandadores de zeolita	80,000
Disposición de salmuera	10,000
Almacenaje de agua blanda	<u>10,000</u>
Capital estimado	\$ 3'285,000

COSTO POR 1,000 GALONES DE AGUA OBTENIDA

Combustible	\$ 0.21
Labor, ó trabajo	0.09
Mantenimiento de equipo	0.21
Potencia	0.02
S a l	0.03
Estabilización del efluente	0.02
Capital cargado	<u>0.26</u>
Costo estimado	\$ 0.84

En soles peruanos:

Construcción \$/ 92'000,000

Costo de producción 6.30 / m³

T A B L A I VCOSTOS ESTIMADOS PARA EL PROCESO DE DESTILACION INSTANTANEA

<u>Títulos</u>		<u>Costos</u>
Casa de bombeo y laboratorios	\$	40,000
Reservorios y tuberías		20,000
Desgasificador		15,000
Unidades calentadores instantáneos (1,24 mgd)	2'	120,000
Clorinadores, bombas y tuberías		70,000
Almacenaje de sal, casas de bombeo		40,000
Ablandadores de zeolita		80,000
Disposición de salmuera		10,000
Almacenaje de agua blanda		10,000
		<hr/>
Capital estimado	\$	2'405,000

COSTOS POR 1,000 GALONES DE AGUA OBTENIDA

Cobustible	\$	0.83
Trabajo o labor		0.09
Mantenimiento de equipo		0.09
Potencia		0.12
Sal		0.03
Estabilización del efluente		0.02
Capital cargado		0.19
		<hr/>
Costo estimado	\$	1.37

En soles peruanos:

Construcción S/. 62'500,000
 Costo de producción 10,45 / m³

T A B L A N° V

COSTOS ESTIMADOS PARA EL PROCESO DE CAMBIOS DE ION

<u>Títulos</u>	<u>Costos</u>
Casa de bombeo y laboratorios	\$ 40,000
Reservorio y tuberías	20,000
Desgasificador	15,000
Unidades de cationes y aniones	330,000
Acidos y almacenaje de cáusticos y tuberías	70,000
Clorinadores, bombas y tuberías	80,000
Almacenaje de sal, casas de bombeo	40,000
Ablandadores de Zeolita	80,000
Disposición de salmuera	10,000
Almacenaje de agua blanda	10,000
	<hr/>
Capital estimado	\$ 695,000

COSTO POR 1,000 GALONES DE AGUA OBTENIDA

Acido sulfúrico	\$ 0.44
Soda cáustica	0.30
Trabajo	0.02
Mantenimiento de equipo	0.02
Sal	0.02
Estabilización del efluente	0.02
Capital cargado	0.05
	<hr/>
Costo estimado	\$ 0.87

En soles peruanos:

Construcción \$/ 19'500,000

Costo de producción 6.50 / m³

T A B L A N° V I

COSTOS ESTIMADOS PARA PROCESOS DE ELECTRODIALISIS, PRECEDIDO DE
ABLANDAMIENTO POR ZEOLITA

<u>Títulos</u>	<u>Costos</u>
Casa de bombeo y laboratorio	\$ 40,000
Reservorio y tuberías	20,000
Desgasificador	15,000
Unidades de electrodiálisis	720,000
Clorinadores, casa de bombeo y control	119,000
Almacenaje de sal, casas de bombeo	90,000
Abalndadores de zeolita	398,000
Disposición de salmuera	20,000
Almacenaje de agua tratada	50,000
	<hr/>
	Capital estimado \$ 1'472,000

COSTO POR 1,000 GALONES DE AGUA OBTENIDA

Sal	\$ 0.15
Trabajo	0.06
Mantenimiento de equipo	0.05
Potencia	0.12
Reemplazo de membranas	0.14
Estabilización del efluente	0.01
Capital cargado	0.12
	<hr/>
	Costo estimado \$ 0.65

En soles peruanos:

Construcción	S/. 41'000,000
Costo de producción	4.85 / m ³

T A B L A N° VII

COSTO ESTIMADO PARA EL PROCESO DE ELECTRODIALISIS, CON PRE-TRA-

TAMIENTO DE ACIDO SOLAMENTE

<u>Títulos</u>	<u>Costos</u>
Casa de bombeo y laboratorios	\$ 40,000
Reservorio y tuberías	20,000
Desgasificador	15,000
Unidades de electrodiálisis	720,000
Clorinadores, casa de bombeo y control	119,000
Almacenaje de ácido	20,000
Disposición de salmuera	20,000
Almacenaje de agua tratada	<u>50,000</u>
Capital estimado	\$ 1'004,000

COSTO POR 1,000 GALONES DE AGUA OBTENIDA

Trabajo	\$ 0.06
Mantenimiento de equipo	0.04
Potencia	0.12
Reemplazo de membranas	0.14
Acido sulfúrico	0.02
Estabilización del efluente	0.02
Capital cargado	<u>0.08</u>
Costo estimado	\$ 0.48

En soles peruanos:

Construcción \$/ 28'000,000

Costo de producción 3.60 / m³

T A B L A N° VIII

COMPARACION DE COSTOS ESTIMADOS

Proceso de evaporación de múltiples efectos		
Paralelamente con ablandamiento de zeolita	\$ 2.45/1000	gls.
Proceso de compresión de vapor, paralelamente con ablandamiento de zeolita	0.84	"
Evaporación instantánea, paralelamente con ablandamiento de zeolita	1.37	"
Cambio de iones, paralelamente con ablandamiento de zeolita	0.87	"
Electrodiálisis precedido de ablandamiento de zeolita	0.65	"
Electrodiálisis precedido por tratamiento de ácido	0.48	"
Costo de agua potable, considerado por el Programa de Conversión de la Oficina de Aguas Salinas	0.38	"

Con esta última tabla se termina la Parte I, que comprendía la historia, la clasificación de los procesos, etc. En las páginas siguientes haremos la aplicación de uno de estos métodos.

II PARTE

APLICACION

DE LA CONVERSION DEL AGUA DE MAR EN EL DEPARTAMENTO

DE TACNA.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

METODO DE LA ENERGIA NUCLEAR

Trataremos en esta segunda parte de la tesis, de la aplicación del método de la energía nuclear, es decir de la utilización de un reactor combinado de tal manera que produzca fuerza eléctrica y que a la vez produzca agua fresca desde el agua de mar.

La Junta de Control de Energía Atómica del Perú ha recibido a fines del mes de Noviembre del presente año, los datos de un reactor para conversión de agua de mar que produce 50 Millones de galones por día, aproximadamente 185,000 ton/día de agua destilada, por intermedio de destiladores de tipo flash, con un costo de \$ 30'700,000, pero sin producción de fuerza eléctrica. (850 millones de soles).

Habíamos manifestado al comienzo de esta tesis que sólo era recomendable en nuestro medio la aplicación de unas plantas de poder y de conversión de agua de mar, para así formar Centros industriales, pues la desmineralización por ahora es de alto costo

para uso directo en irrigación, pero que tratando el agua ya usada (desagües) -que dicho sea de paso deberá tener una conexión diferente a los deshechos industriales, para que puedan recuperarse- podría utilizarse posteriormente en irrigación.

Sin embargo, la utilización de un reactor nuclear trae consigo varios problemas de orden técnico, como son las construcciones civiles y concepciones arquitectónicas de dichas plantas. Ellas deben guardar ciertas normas de construcción y de controles de mezclas de hormigón muy rigurosas, así como la cimentación del lugar donde se encontrará el reactor, algunos de los cuales llegan a pesar 33,000 toneladas.

No podemos concebir una estructura civil para un reactor mientras no tengamos los conocimientos previos del funcionamiento de ellos; por este motivo hablaremos sobre los reactores y luego daremos someramente algunas exigencias sobre las construcciones de las Plantas Nucleares.

Los reactores más utilizados son aquellos denominados:

- a.- Reactores de Agua a Presión.
- b.- Reactores de Agua Hirviente.
- c.- Reactores refrigerados a Gas.

Indudablemente que existen muchos otros tipos, que se clasifican según el combustible que utilizan, así como el moderador o refrigerante, o también por la energía de neutrones, etc. Pero los tres anteriormente nombrados son los más utilizados actualmente.

Hablemos ahora del funcionamiento de cada uno, en forma muy ligera.

A.- Reactores de Agua a Presión.- En 1954 se inició la construcción del primero de ellos, la cual terminó en 1956. Este reactor tiene un núcleo heterogéneo, constituido por varillas con óxido de Uranio natural, revestidas de Zirconio, y láminas de Uranio enriquecido en U-235; utiliza como moderador y refrigerante el agua natural. Todo el conjunto se encuentra a presión en un recipiente de acero al carbono, y resguardado en el interior por acero inoxidable.

El funcionamiento es el siguiente:

El agua que se utiliza como refrigerante ingresa a 245° C. al recipiente de presión, dentro del cual hay 140 atmósferas de presión para evitar la ebullición, que en este tipo de reactores no conviene, y absorbe el calor que hay en el núcleo de 260 Mwt (mega-watts-térmicos) que es lo mismo que 260,000 Kws térmicos; continúa el agua su recorrido y sale con 280°C. de temperatura pasando por un intercambiador de calor con agua; esta agua se torna en vapor a 250°C. y 42 atmósferas de presión. La turbina que mueve un motor que produce 60 Mwe. (mega-watts-eléctricos), ó 60,000 Kwe (kilo-watts-eléctricos), es movida por el vapor que al condensarse vuelve al intercambiador para completar el ciclo y volver a empezar otro.

B.- Reactores de Agua Hirviente.- Es parecido al anterior pero en este caso el agua natural es el moderador. El primer

reactor de este tipo se diseñó para producir 20 Mwt. y 5 Mwe. pero en experimentos llegó a producir hasta 60 Mwt.

El núcleo es heterogéneo y tiene ensambles de láminas de Uranio-Zirconio-Niobio, que a la vez tiene una envoltura de Zircaloy-2. Estos elementos llevan Uranio natural algunos, y otros Uranio enriquecido al 1.44% en U-235.

En este reactor el vapor de agua tiene 252°C. y una presión de 600 lib/pulg² y vá a poner en marcha un turbo-generador. Es económico pues no usa de intercambiadores de calor, pero debe controlarse mucho más el aspecto de la radioactividad del agua en todo el sistema.

El reactor debe tener un blindaje biológico de concreto, que debe ser de alta densidad y contener balines de acero. El sistema debe estar en una estructura de acero dentro de la cual debe haber una presión de 15 libs/pulg² en el manómetro.

C.- Reactores enfriados a Gas.- El prototipo de estos reactores es el de Calder-Hall, construido en Inglaterra. El reactor, como todos los reactores, tiene un núcleo formado por un ensamblaje de grafito y varillas de Uranio natural. El CO₂ a 185 libs/pulg² se utiliza como refrigerante, con una temperatura de 180°C. a la entrada y de 375°C. a la salida. Es un reactor productor de corriente eléctrica y convertidor, pues al U-238 lo convierte en Pu-239, con un factor de conversión de 0.85, produce 966 Mwt. que rinden 250 Mwe. (es decir que 38% de los Mwt. se convierten en Mwe.; en lo sucesivo deberá considerarse un factor de conversión de Mwt. a Mwe. de 33% a 25%).

El concreto es considerado como blindaje y su espesor en dos capas es de 7 y 4 pies respectivamente.

Despues de presentados estos datos de funcionamiento de reactores pasemos a las consideraciones de orden arquitectónico y de ingeniería civil, o de cualesquier otro orden técnico.

En la construcción de las estructuras deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

A.- Selección del emplazamiento del reactor nuclear.

- 1.- Análisis del emplazamiento.
- 2.- Evaluación del emplazamiento.
- 3.- Evaluación del peligro.

B.- Programa de Trabajo.

- 1.- Preparación del emplazamiento.
- 2.- Construcción del recipiente de presión.
- 3.- Montaje del núcleo del reactor.
- 4.- Pruebas de la instalación.

C.- Problemas de Construcción.

- 1.- Cimientos.
- 2.- Controles de Hormigón.
- 3.- Resistencia a las vibraciones por explosión y por movimientos sísmicos.

Digamos ahora algo sobre cada uno de estos aspectos.

A.- Selección del emplazamiento.

Indudablemente que, con los conocimientos previos del funcion

namiento de los reactores así como del peso posible que tienen, debemos de tener sumo cuidado en escoger el sitio de instalación del aparato. Para ello haremos estudios previos sobre la geología del sitio del agua subterránea, así como del movimiento de las aguas superficiales, el clima (es decir de las condiciones meteorológicas del lugar), fundación del equipo pesado, posibilidades de inundaciones, al igual que los movimientos telúricos que afectarían la estructura de presión del reactor, así como otras instalaciones.

Como los reactores se construyen para la generación de corriente eléctrica y conversión del agua de mar y como el costo de conducción de estos es caro, es conveniente que el sitio escogido se halle cerca del lugar que se sirve, es decir, cerca de la ciudad a la cual abastece. Este problema trae como consecuencia que debe tenerse un buen cuidado en el diseño, ya que no debe dejarse de lado la posibilidad de una explosión en el reactor, con el peligro de contaminación radioactiva de las zonas aledañas. Por este motivo, el edificio que protege al reactor debe ser estanco, de tal manera que no deje pasar los gases de su interior al exterior, por medio de la mantención de una presión un poco menor a la presión exterior (atmosférica).

Para el aspecto del emplazamiento debe tenerse en cuenta tres consideraciones:

1.- Análisis del emplazamiento.

Después del estudio de las posibilidades de instalación

de un reactor en alguna ciudad, zona, o para otro fin, deben estudiarse, dentro del análisis del emplazamiento, cuatro factores muy importantes que lo van a determinar.

- a.- La atmósfera (meteorología).
- b.- La hidrósfera o hidrología (condiciones del agua)
- c.- La litósfera (geología)
- d.- La cultura, población y desarrollo de la zona a la cual se piensa servir.

Dentro del análisis debe considerarse la posibilidad de lo que sucedería en caso de accidente y las posibilidades de radioactividad.

2.- Evaluación del emplazamiento

Después de hecho el análisis de varios sitios en los cuales es posible la ubicación del reactor, se hace la evaluación de cada uno de ellos sin deshechar los peligros que habría en la zona en caso de existir estos. En este estudio debe presentarse los costos resultantes de las instalaciones dentro de toda clase de precauciones contra las radiaciones.

3.- Evaluación de Peligros.

En este estudio se combinan los estudios de selección del emplazamiento con las posibilidades de peligro potencial. El peligro potencial debe ser considerado como las posibilidades de radiaciones que pueden ser controladas así como incontroladas. Deben hacerse estos estudios en una forma orgánica respecto de los efluentes líquidos, gaseosos y sólidos, actuando dentro de

diversas condiciones. Deben incluirse los análisis de las manipulaciones de sustancias radioactivas y el de la planta de tratamiento. (Atomic Industrial Forum).

B.- Programa de Trabajo

En todo trabajo de construcción debe planearse un plan maestro de construcción, dentro del cual se consideran los tiempos en que deben terminarse cada una de las etapas que entran en la construcción de plantas nucleares, que debido al alto costo de instalación (gasto inmediato) deberá hacerse en el menor tiempo posible.

Las etapas que deben medir este tiempo de construcción son:

1.- Preparación del emplazamiento.- Dentro de ella se incluyen la construcción de los cimientos del reactor (de tal manera que pueda resistir su alto peso), así como la construcción de los muros de blindaje biológico.

2.- Construcción del recipiente de presión.- Este recipiente va dentro del blindaje biológico.

3.- Montaje del núcleo del reactor.- El núcleo del reactor debe ir dentro del recipiente de presión, y luego de éste deberán hacerse las instalaciones que van al control del reactor.

4.- Pruebas de la instalación.- Luego de terminada la construcción, deberán hacerse las pruebas de las instalaciones; algunas de ellas son tan minuciosas que duran largo tiempo, como ha sucedido con la de Calder Hall (Inglaterra) en que antes de su inauguración se tuvieron seis meses de pruebas.

C.- Problemas de Construcción

Se dice que los ingenieros que han trabajado en la construcción de plantas alimentadas a carbón o a petróleo pueden trabajar en la construcción de plantas nucleares, debido a la experiencia que tienen en la organización de trabajo, despliegue de maquinarias, así como en la manipulación de los materiales que son necesarios en este tipo de obras.

Generalmente los problemas de construcción se presentan en la construcción de los cimientos, pues como es sabido, el gran peso de los reactores es concentrado en una zona (algunas de las cuales tienen que recibir hasta $2 \frac{3}{4}$ Tons/pie² = 3.2 Kgrs/cm²). Es por este motivo que debe tenerse al lado el estudio geológico de la zona ya seleccionada, deben hacerse estudios de la mecánica del suelo y gráficos de los asentamientos que sufrirán en dos años (tiempo mínimo). En la planta nuclear de Calder Hall cada marco de cimiento es de 39.5 m. de longitud, 32.6 m. de ancho y 3.35 m. de espesor, conteniendo 4,280 metros cúbicos de concreto y 273 toneladas de varillas de acero de refuerzo de 7/8 y de 1 1/2 pulgadas de diámetro. Los cimientos se construyeron en cuatro cuerpos, constando cada uno de 21 paños; el vaciado se hizo con intervalos de tres días.

La parte más interesante de la construcción de una planta nuclear es el blindaje biológico, en el cual debe tenerse sumo cuidado con las mezclas de hormigón que se utilizan y también con los espesores que tendrán dichos blindajes. Se acepta muy pequeña tolerancia en las dimensiones verticales u horizontales

(\pm 1/10 de pulgada).

1.- Cimientos.- Habíamos hablado sobre los cimientos anteriormente, lo mismo que las características del blindaje biológico. Creo que lo más conveniente en esta parte del aspecto de los problemas de ingeniería civil que se presentan es dar en una forma de tabla los datos que se tienen sobre el reactor nuclear de Calder Hall, y ellos son los siguientes:

Presión sobre el subtrato de 2.75 Tons/pie² por cada reactor nuclear de 33,000 toneladas.

Plataforma (de apoyo del reactor y protector biológico)

Material	Cemento armado
Peso	10,000 tons.
Volumen	5,600 yardas cúbicas
Dimensiones	130 x 104 x 11 pies
Barras de refuerzo	273 tons. de barras de 7/8 a 1 3/8 pulgs.

Protector biológico

Forma	Plano octogonal
Dimensiones	Altura 90 pies
	Distancia entre superficies paralelas anteriores: 46 pies
	Distancia entre superficies paralelas exteriores: 60 pies
	Espesor de pared: 7 pies
	Espesor de techo: 8 pies
Material	Hormigón
Agregado	Piedra Whin de Northumberland
	Mezcla inicial 6 3:1
	Susiguiente 7 5:1
	Proporciones de agua/cemento 0.5:1

Densidad	Media 154 lib/pie cúbico
Resistencia mínima a la desintegración	3,000 lib/pulg ²
Tolerancia especificada	± 0.1 de pulgada
Peso	9,000 tons. aproximadamente

Torres de Refrigeración

Número	dos
Material	Hormigón
Dimensiones	Altura 300 pies. Diámetro en la base 190 pies; en la garganta 104 pies.
Capacidad (de cada torre)	3 x 10 ⁶ galones hora
Gama de refrigeración	87°F. a 70°F. (30,5°C. a 21.1°C.)
Temperatura en ampollita Húmeda	47°F. (8.3°C.)
Temperatura en ampollita Seca	(Humedad 60%) 52°F (11.1°C)

2.- Control de Hormigón.- En este punto debe tenerse cuidado en lo que respecta al sitio donde deberán colocarse las maquinarias mezcladoras de concreto de tal manera que sea fácil llegar y salir de ellas por medio de vehículos que puedan transportar el material.

El hormigón que se utiliza en los blindajes biológicos debe tener en su mayor parte áridos de tipo normal y después de acabado se especifica una densidad en seco, fuera de los requerimientos usuales de resistencia.

Deben evitarse las porosidades en el concreto vaciado; por este motivo es aconsejable la utilización de vibradores mecáni--

cos para obtener una mayor compactación. La utilización de estos vibradores hace que se tenga una vigilancia en la relación a gua-cemento. Sin embargo, la prueba de aplastamiento como indicación del grado de trabajabilidad está siendo reemplazada por el factor de compactación ya que es mucho más sensible a variaciones pequeñas del valor de la relación (Wadkin W.). Por tanto, es mejor definir la resistencia del concreto sólo que la resistencia del hormigón por la cantidad de cemento que contiene, salvo en los casos en que sea necesario el utilizar más cemento, como por ejemplo, una mejor duración del hormigón expuesto a condiciones muy severas.

La especificación más usada para el hormigón del blindaje biológico es la siguiente:

Contenido mínimo de cemento	272 Kg/m ³
Máx. relación de agua/cemento	0.58
Resistencia mínima a los 28 días	211 Kg/cm ²
Densidad mínima en seco	2,320 Kg/m ³

Las operaciones de mezclado, el transporte y el vaciado deben ser vigiladas adecuadamente. En épocas frías, tanto el agregado como el agua de la mezcla fueron calentadas con vapor y se les agregó cloruro de calcio, y la formación de poros se evitó no permitiéndose el bombeo de la mezcla del hormigón (véase la tabla N° 1).

Deberán tener en cuenta que las especificaciones de la tabla N° 1 como: P, S1, S2, S3, M1, M2, M3 y L, se refieren al cemento Portland ordinario; las otras designaciones con el sufijo

TABLA N° I

Grado y Uso	Categoría de esfuerzo	Control Standard	Esfuerzo de diseño (lib/pulg ²)		Prueba de esfuerzo de trabajo (lib/pulg ²)			Cantidad Mfina de cemento (lib/yd ³)
			28 Días	7 Días	28 Días	7 Días.		
Concreto preesforzado P ó P(S)	1	A	6000	4000	4500	3000	560	
Concreto Armado S1 ó S1(S) S2 ó S2(S) Estructural S3 ó S3(S)	1	A	6000	4000	4500	3000	448	
	2	A	5000	3350	3750	2500	448	
	2	A	4000	2700	3000	2000	448	
Concreto Masivo M1 ó M1(S) (Simple o Armado) M2 ó M2(S) M3 ó M3(S)	1	A	4000	2700	3000	2000	336	
	3	B	3000	2000	2250	1500	336	
	3	B	3350	2220	2500	1650	425	
Concreto pobre L ó L(S)	4	C	2500	1650	1750	1200	224	

(100 lib/pulg² = 7.03 kg/cm², 1 lib/yd³ = 16 kg/ m³)

Tabla dad por Evans F.W. Civil engineering construction at Hunterston - Atomic Energy Review
Vol. 2 N° 1 - Marzo 1959.

S se refieren a cementos resistentes a los sulfatos. Todos los concretos deberán ser vibrados durante su vaciado, a excepción de M2, M2(S), L y L(S).

El concreto para el blindaje despues de secado a 43°C. no debe pesar menos de 2.35 Kgs/dm³ respecto a blindajes ordinarios y no menos de 3.36 kg/dm³ para blindajes de concreto pesado. Las pruebas del concreto se hacen sobre cuatro muestras de cada una de las secciones de la estructura en la siguiente forma: dos de ellas a la compresión a los 7 días, una a la compresión a los 28 días y la otra es secada en un horno durante 28 días de tal manera de obtener su densidad al término de este tiempo.

Los minerales que se utilizan para una mayor densidad en el concreto son muchos, entre estos se encuentran la Barita, Magneta, la Limonita y la Geothita; existen otros minerales con mayor peso que todavía no han sido muy utilizados, como la Hematita, la Arsenopirita, etc. Otro sistema que, aunque es caro, se recurre algunas veces es utilizando trozos de hierro.

F. W. Evans hace una interesante comparación de la construcción de un reactor nuclear y de una planta alimentada a carbón. En una parte de esta comparación dice lo siguiente: "Los cimientos para tres calderas representan mayor trabajo de ingeniería civil que para un reactor pero las superestructuras de los edificios de las calderas representan comparativamente un trabajo simple de ingeniería, mientras que la superestructura del reactor tiene un blindaje masivo e intrincado, pisos y estructuras de soporte de los intercambiadores de calor, todo ello en concreto ar

mado en cuya erección se exige las normas constructivas más rígidas. Y sobre todo esto, aun hay que agregar los edificios. Ellos toman mayor tiempo de construcción, de modo que el trabajo de ingeniería civil no solamente es mayor para un reactor sino que debe ser hecho más rápidamente".

3.- Resistencia de las vibraciones por explosión.- Anteriormente nos referimos a que debe tenerse mucho cuidado en las zonas donde hay movimientos telúricos. En estos sitios los reactores nucleares, o mejor dicho, las plantas nucleares tienen que ser diseñadas para resistir fuertes vibraciones.

Los más grandes experimentos sobre este punto se han realizado en el Japón, país que como se sabe sufre de grandes movimientos sísmicos, y está a la cabeza de las especificaciones de estructuras antisísmicas, por estudios y desarrollos a los cuales se hayan abocado desde hace mucho tiempo.

Casi todos los reactores nucleares tienen en su núcleo grafito ya sea en láminas o en barras; pues bien, la forma en que se haya colocado es muy importante para el estudio de vibraciones que puede resistir el reactor.

Evans dice que los estudios sobre vibraciones por explosión se hayan muy adelantados actualmente, debido principalmente a la construcción de este tipo de plantas. Dice también que la amplitud de vibración es menor cuanto mayor sea la distancia a la planta, pero que ello depende de tres factores:

1.- Tamaño de la carga

2.- La distancia del edificio al punto de explosión

3.- Un factor empírico dependiente del material del terreno. (k)

Los valores de K para los diferentes materiales son los siguientes:

Materiales en el sitio de la explosión	Materiales de base de la estructura	K
Roca	Roca	0.05 - 0.10
Roca	Arcilla	0.10 - 0.20
Arcilla	Roca	0.10 - 0.20
Arcilla	Arcilla	0.20 - 0.30

Y para el cálculo de vibraciones se tiene la fórmula dada por Morris G. (Vibrations due to blasting and their effects on buildings structure - The Engineer 190-1959):

$$A = \frac{K \sqrt{E}}{d}$$

A = Amplitud de vibración (pulgs.)

K = Factor de tabla

E = Peso de la carga explosiva (libras)

d = Distancia del punto de la explosión a la base (pies)

Pero de todas maneras hay límites para estas vibraciones en cada tipo de estructuras, por supuesto límites dentro de un factor de seguridad:

- | | |
|---------------------------------------------------------------|--------|
| 1.- Estructuras de valor y/o frágiles | 0.004" |
| 2.- Propiedades tales como casas o pisos estrechamente unidos | 0.008" |

3.- Propiedades aisladas	0.016"
4.- Estructuras de ingeniería civil	0.300"

Blindaje Biológico

Todo reactor debe tener un blindaje biológico, y la finalidad del mismo es la de protección del personal que está a cargo del reactor. Existen tres factores que determinarán el blindaje:

- a.- Costo
- b.- Espacio disponible
- c.- Peso tolerable.

En todos ellos intervendrá, por su importancia, la cantidad permisible de radiación por el ser humano, siguiéndole en importancia la forma o la disposición que deba tener el blindaje.

Como se sabe, el ser humano no percibe por los sentidos, en el momento de la exposición a la radiación, la cantidad que es peligrosa para él, y sus efectos recién aparecerán al cabo de algunos días, meses o años.

Diseño del blindaje biológico

H. G. Rickover dice: "Un diseño deficiente del blindaje en un reactor Estacionario puede conducir a costos elevados, una pobre accesibilidad para el mantenimiento, altos niveles de radiación cerca de las penetraciones o de los esfuerzos, o a esfuerzos excesivos en las estructuras próximas al núcleo del reactor debido al calor nuclear desprendido. Un diseño inadecuado del blindaje del reactor puede dar como resultado la activación del equipo refrigerante primario, la descomposición del agua en el

intercambiador de calor (tal vez aumentando la corrosión), o el daño en el material del blindaje primario mismo. Los detectores de los cuales depende el sistema de control del reactor, son diseñados en base de los flujos calculados por el diseñador del blindaje; los errores aquí pueden resultar en una confusión del encendido del reactor o en una destrucción de los detectores mismos".

Cabe hacerse ahora la siguiente pregunta:

¿Cómo puede hacerse entonces el diseño de éste blindaje?

El diseñador debe responder a cuatro incógnitas que se presentan al proyecto.

- a.- El tipo del blindaje, ¿debe hacerse compacto o dividido?
- b.- Los niveles permisibles de radiación; según esto, ¿cuáles serán las horas de trabajo del personal?
- c.- La situación, energía e intensidad de las fuentes de radiación. ¿Cuáles son las más convenientes para el reactor?
- d.- Los materiales que se utilizarán en el blindaje, ¿de cuánto se dispone y a qué costo?

Una vez que el diseñador ha resuelto estas incógnitas puede pasar al diseño directamente, teniendo en cuenta las tuberías y orificios que deberán pasar por el blindaje, el material que deberá usarse así como su puesta en el sitio, un estudio de las variaciones en las radiaciones durante la puesta en marcha y el apagado del reactor, los esfuerzos que sufre la estructura debido

al calor, los escapes a través de las juntas existentes, también se tendrá en cuenta la disminución de la vida útil de los materiales por efectos de la radiación.

TRATAMIENTO DE DESHECHOS RADIOACTIVOS

Después de haber dado, en forma bastante ligera por supuesto, ciertos conocimientos previos sobre los reactores, pasaremos a un problema de índole de ingeniería sanitaria. ¿Que se hace con los desechos radioactivos? Explicaremos pues algunos datos sobre el tratamiento de estos desechos radioactivos, pero antes de pasar más adelante daremos a conocer un artículo de la revista "Ciencia e Industria Popular" del mes de Septiembre de 1960, página 47, cuyo título es: "Se solicita un basurero para desperdicios radioactivos" y dice:

"Ya hay 265 millones de litros (todo un lago) de líquidos nocivos envasados en unos 200 grandes tanques de acero en Savannah River, S.C. Arco, Idaho y Hanford, Wash. Esos tanques se encuentran bajo tierra. Su contenido son los desperdicios radioactivos más peligrosos de las operaciones de energía atómica. Algunos de ellos tienen tanta radioactividad que se encuentran calientes y se han tenido que enfriar especialmente para evitar que

hiervan".

"Para el año 2,000 habrá treinta o cuarenta veces más. El temor de que el hombre sea desalojado de la tierra por los desperdicios de la edad atómica preocupa a muchos hombres de ciencia."

"El deshacerse de la basura atómica es tan difícil porque, a diferencia de la basura ordinaria, no siempre se descompone convirtiéndose rápidamente en polvo inofensivo. Algunos desperdicios atómicos siguen emitiendo radiaciones mortíferas (que no se pueden ver, palpar, oler ni gustar) durante miles de años y podrían dañar directamente a las personas, o contaminar los alimentos o el agua durante mucho tiempo, antes de que nadie pudiera notar que tal cosa estaba sucediendo."

"Diluirlos y dispersarlos.- En la actualidad, los desperdicios líquidos de "bajo nivel" que contienen poca radioactividad, se guardan herméticamente en envases forrados interiormente de concreto y se tiran al mar. Hay dos tiradores oficiales en los Estados Unidos, ambos de gran profundidad: uno a 192' Kms. de Nueva Jersey y el otro a 96 Kms. de San Francisco. Si por alguna causa imprevista el líquido se filtrara, el Océano lo diluiría sin ningún peligro".

"Los desperdicios gaseosos se filtran y posteriormente se hacen pasar por una chimenea muy alta para que la atmósfera los disperse. Para evitar cualquier peligro, la Comisión de Energía Atómica y otras Oficinas del Gobierno de los Estados Unidos, vigilan cuidadosamente las corrientes de aires cercanas."

"Concentrarlos y encerrarlos.- Los líquidos muy peligrosos llamados de "alto nivel" se concentran tanto como es posible y despues se almacenan en tanques. Este procedimiento es muy costoso y no puede seguirse llevando a cabo indefinidamente. Por consiguiente, la Comisión de Energía Atómica está ensayando dos alternativas:

- 1.- Convertir los líquidos en sólidos inertes (óxidos y arcillas) que se podrían enterrar.
- 2.- Por medio de bombas hacer llegar los desperdicios directamente hasta las formaciones rocosas profundas, de las que no podrían filtrarse. "

En la lectura de este artículo podrán Uds. imaginarse el trabajo que se tiene en los países en los cuales hay estudios sobre reactores y, por consiguiente, existen deshechos radioactivos que es necesario, por uno u otro motivo, hacerlos desaparecer.

Anteriormente, por el mismo artículo, se dan dos soluciones que están siendo utilizadas en los Estados Unidos, pero a la vez daremos otras que también se han estudiado.

Las indicaciones generales que se hacen sobre la disposición de los desagües radio-activos, en forma muy somera, se han extractado de los resúmenes del libro que se publicó después de las conferencias que sobre este tema hubieron en los Estados Unidos, estando representados: Japón, Inglaterra, Francia, Rusia y otros países en los cuales hay reactores nucleares de experimentación y aplicación.

El libro tiene el nombre de "Disposal Of Radioactive Wastes" Vol N° 1 (1959) que se encuentra editado en cuatro idiomas (ruso francés, inglés y castellano).

Veamos entonces cómo se encuentran estos deshechos y cómo pueden tratarse:

Origen y naturaleza

Los deshechos dependen principalmente del tratamiento necesario para la regeneración del combustible y de la composición inicial de éste. Por otro lado, por cada unidad de deshecho de actividad elevada se obtienen de 5 a 100 volúmenes de actividad media o baja.

Los deshechos en la atmósfera

Algunas veces puede considerarse a la atmósfera como posible recipiente de deshechos. Sin embargo la presencia de radioactividad en el ambiente atmosférico afecta más rápidamente al organismo humano.

En general se puede plantear dos problemas:

- 1.- Una radioactividad cercana a la zona del reactor o de la planta nuclear, y
- 2.- La concentración de la radioactividad en la atmósfera universal, en años.

Deberán tenerse informes sobre la actividad atmosférica de tal manera de deshechar los desperdicios en la debida oportunidad. Pero, hasta la actualidad se debe continuar con las descargas mínimas consideradas.

S. H. Small y P.B. Storeb (noruego), que son los autores de la memoria presentada dicen: "La estratosfera cambia cada 2 años o, en otras palabras se renuevan los aires, pero la precipitación de las materias radioactivas no es uniforme y los niveles admisibles de contaminación atmosférica deberán basarse en riesgos probables en las regiones más expuestas (regiones montañosas)

Eliminación de Efluentes Líquidos de Baja Radioactividad por Dilución.

P. Bovard y C. Candillon (Francia), presentaron un estudio sobre la eliminación de efluentes de baja radioactividad por dilución; el estudio comprendía:

- De radioactividad natural, y
- De contaminación artificial.

Se realizaron ensayos en el laboratorio de radioactividad sobre los metales y sobre los vegetales.

Se estudiaron las diluciones de los efluentes en los ríos: fijación en los minerales muy divididos: mica, cuarzo. Algunos isótopos se condujeron de diferentes maneras como: Sr^{90} ; Cs^{137} ; é Y^{90} . El menos absorbido fué el Sr^{90} .

Casi toda la radioactividad artificial parece deberse a las precipitaciones radioactivas de la atmósfera.

(Este estudio debe utilizarse para completar la fijación del emplazamiento de una planta nuclear).

Eliminación de concentrado en bloques de concreto

P. Cerre (Francia), perteneciente al Commisariat a L'energie

Atomique, Saclay ha ideado un sistema en el cual se empotran los deshechos en un hormigón especialmente estudiado que ofrece las siguientes características:

- Fuerte resistencia mecánica
- Máximo de solubilidad
- Resistencia a la corrosión
- Máximo de estanquidad
- Protección contra las radiaciones.

Después de instalados los deshechos se conservan sin peligro los bloques hasta disponer de ellos.

La composición del mortero es:

- Cemento HTS Lafarge	50 Kgs.
- Arena	76 "
- Oxido Cemento (Oxyde ciment)	25 "
- Canastilla de malla (Mouillant)	0.300 Kgs.
- Polvo de aluminio (Poudre Daluminium)	0.005 "
- Agua	30 litros

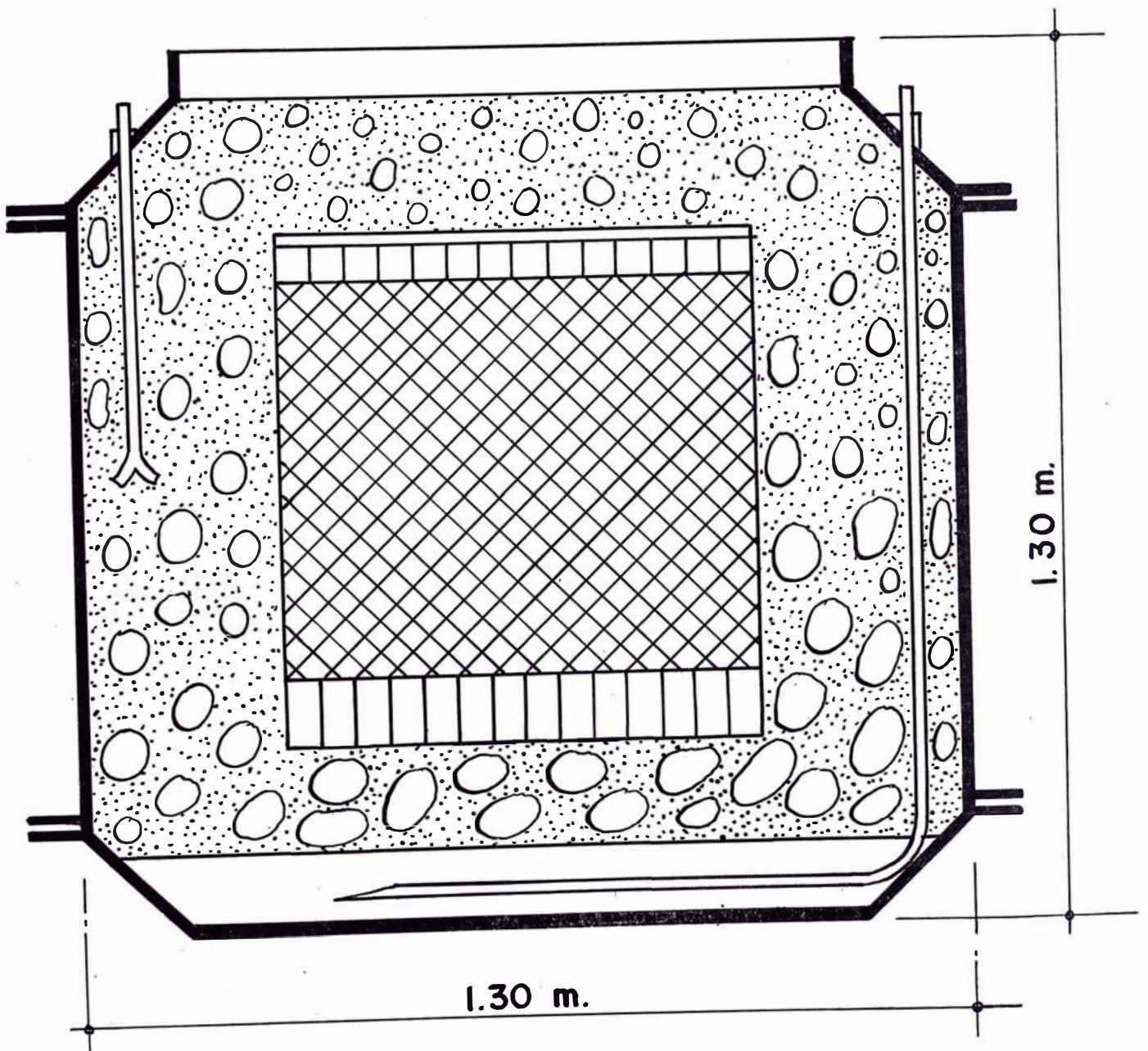
Después de 28 días la resistencia del mortero deberá ser:

570 Kg/cm² a la compresión
95 Kg/cm² en flección.

Los bloques cilíndricos tienen 4 toneles y sus dimensiones son de 1.3 m. de diámetro por 1.3 mts. de alto. La mayor capacidad será de 750 litros.

La mayor dificultad estará en el momento de inyectar los

METODO DE P. CERRE



deshechos para que no vuelva el líquido a la superficie, contaminándola (ver el esquema).

Los japoneses han realizado grandes adelantos en el tratamiento de materias radioactivas. Ellos disponen de una planta similar a las de tratamiento de desagües en la cual tratan los desperdicios radioactivos, por disposición de floculación, evaporación e intercambio de iones.

Disposición de lodos radioactivos en zanjas.

P. Cohen y C. Gauledreau (Francia), dispone los lodos ra--dioactivos en "alvéole" (alveolos) (Traducc: rejillas, canasti--llas).

Luego de guardarse los lodos en cajas (como la explicada anteriormente), se dispone de ellas en excavaciones, en uno de cuyos lados hay un muro de concreto. Un camión provisto de grúa deja las cajas en orden y luego se les entierra con tres capas, formadas por grava, arcilla y grava nuevamente.

Por otro lado, se debe considerar que las soluciones de disposición de deshechos radioactivos puede realizarse en la super--ficie, subsuelo o en el mar.

Debo dejar aclarado para finalizar esta parte que el tema sobre tratamiento de deshechos radioactivos es tan amplio que sería interesante tratarlo en una tesis especial que, por ser tema para Ingeniería Sanitaria, debe propugnar la Facultad correspon--diente.

PROYECTO DE UTILIZACION DE ENERGIA NUCLEAR EN EL LAGO TITICACA

Vamos a dar -antes de entrar a una explicación, muy sintética por cierto, del proyecto de utilización de aguas del lago Titicaca- las fórmulas que se utilizan para calcular la potencia en Mw. o bien en Kw.

La fórmula clásica de potencia es:

$$P = \frac{W \cdot H \cdot Q}{76 \times E} \quad (1)$$

Siendo:

P = Potencia (en HP.)

W = Densidad del líquido (agua = 1,000 kg/m³)

H = Altura de bombeo (mts.)

Q = Gasto m³/seg.

76 = factor de conversión a HP.

E = Eficiencia (aprox. 75%; hidráulica Russell)

Pues bien, esta fórmula no varía mucho para calcular la potencia necesaria que debe dar un reactor nuclear para bombear una cierta cantidad de lts/seg. o m³/seg. La fórmula toma la siguiente expresión:

$$W_b = \frac{9.8 H_c}{e_b} \quad (2)$$

Siendo:

W_b = Potencia de bombeo (Kw)

H_c = Altura de cálculo = $1.1 H_r$ (mts.)

H_r = Altura de bombeo (mts)

q = Gasto en $m^3/\text{seg.}$

e_b = Eficiencia (aprox. 75%)

Reemplazando en la fórmula (2) el valor de H_c tendremos:

$$W_b = \frac{9.8 \times 1.1 H_r q}{0.75} \quad (3)$$

Lo que es lo mismo que:

$$W = 14.4 H_r q \quad (\text{en Kw}) \quad (4)$$

Actualmente se está estudiando la posibilidad de la utilización de las aguas del lago Titicaca por medio de un reactor nuclear. Se piensa así bombear $50 m^3/\text{seg.}$ (más adelante veremos cómo se ha calculado el bombeo), de tal manera que sobrepasen una altura de 685 metros a una distancia de 35 Km. desde el punto de bombeo.

El reactor en realidad dará la potencia necesaria para bombear $10 m^3/\text{seg.}$ La potencia ha sido calculada por aplicación de la Fórmula N° 4, dada anteriormente:

$$W_b = 14.4 H_r q$$

$$W_b = 14.4 \times 685 \times 10$$

$$W_b = 99,000 \text{ Kws.}$$

$$W_b = \text{aprox. } 100 \text{ Mw.}$$

Esta cantidad (ver esquema N° 1) producirá la siguiente energía en las caídas que se nombran:

<u>Caídas</u>	<u>Energía</u>
720 mts.	58 Mw
700 "	56.5 Mw
700 "	<u>56.5 "</u>
	171 Mw. para bombeo
740 "	60 "
640 "	<u>52 "</u>
	112 Mw. de energía ganada.

Los 171 Mw. son necesarios de mandarlos a la planta de bombeo nuevamente para que sean aprovechables para un nuevo bombeo de $17.2 \text{ m}^3/\text{seg.}$ obteniéndose una segunda generación de energía por la caída de este volumen.

<u>Caídas</u>	<u>Energía</u>
720 mts.	100 Mw.
700 "	97.5 Mw.
700 "	<u>27.5 "</u>
	225 Mw. para bombeo

De la última caída sobran 70 Mw., luego:

<u>Caídas</u>	<u>Energía</u>
740 mts.	103 Mw.
640 "	89 "
de la últ. caída	<u>70 "</u>
	262 Mw. de energía ganada

Los 225 Mw. son de nuevo devueltos a la planta de bombeo y ellos permiten bombear $22.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$ que en las caídas respectivas producen la siguiente energía:

<u>Caídas</u>	<u>Energía</u>
720 mts.	133 Mw.
700 "	129 "

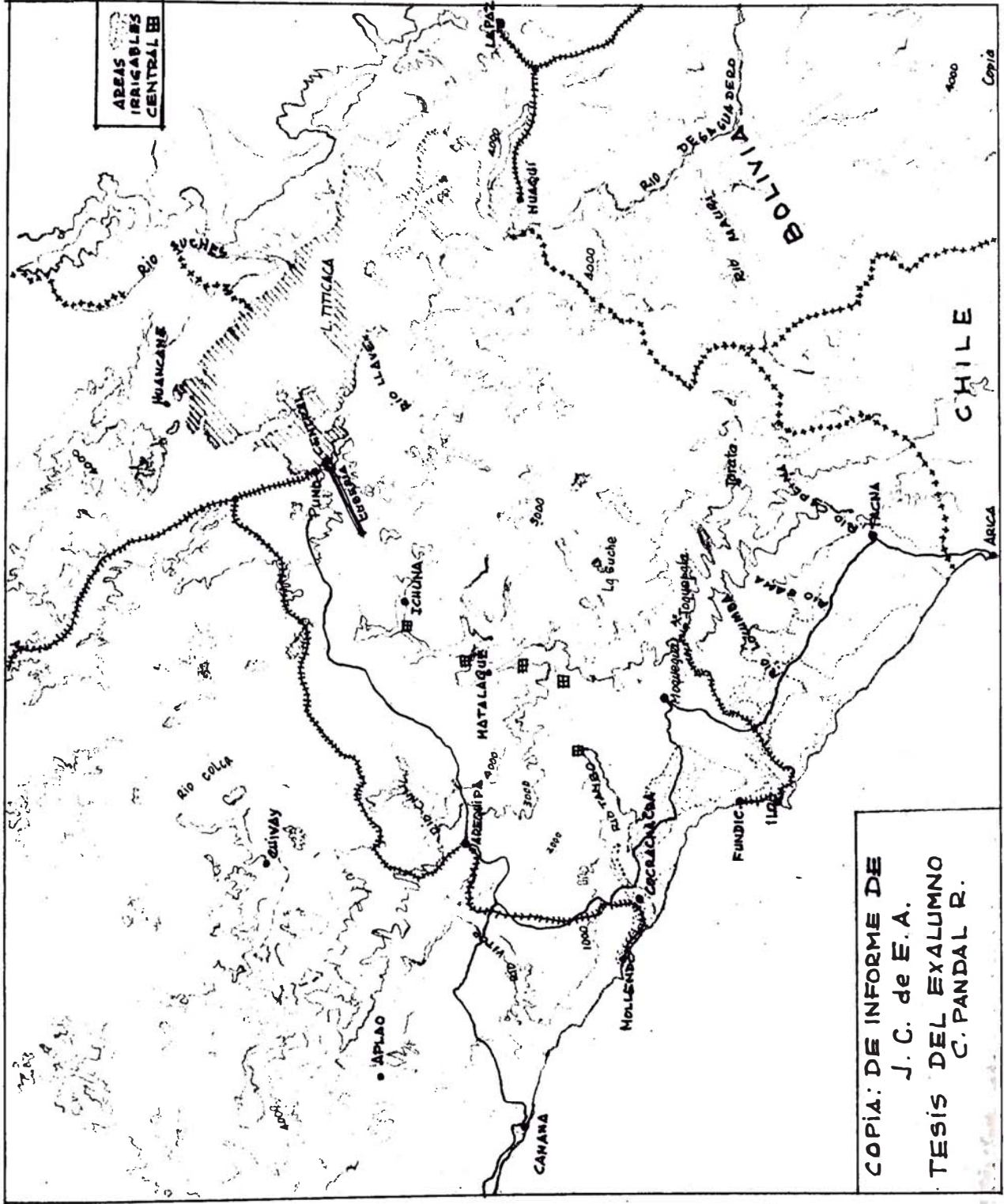
<u>Caídas</u>	<u>Energía</u>
700 mts.	129 Mw.
740 "	137 "
640 "	<u>118 "</u>
	646 Mw.

Luego, tendremos:

<u>Primera generación</u>	<u>Mw.</u>	<u>Mw.</u>
Energía ganada	112	
Energía de bombeo		171
<u>Segunda generación</u>		
Energía ganada	262	
Energía de bombeo		225
<u>Tercera generación</u>		
Energía ganada	<u>646</u>	
Energía total ganada	1020	
Energía total de bombeo		<u>396</u>
Energía total		1416 Mw.

Como observamos en el esquema N° 1, las caídas de agua se utilizarán hasta una altura de 1,000 mts. sobre el nivel del mar como generadora de energía eléctrica y desde este nivel por gravedad para irrigación. Si se desea aprovechar un nivel más alto se tendría que prescindir de la cuarta planta generadora, con lo cual se pierden 259 Mw.

Con $50 \text{ m}^3/\text{seg.}$ se pueden irrigar 50,000 Has., considerando $1 \text{ lt}/\text{seg}/\text{ha.}$, aun cuando en algunos casos puede llegarse a $0.5 \text{ lts}/\text{seg}/\text{Ha.}$, en este caso se ganaría 100,000 Has. controlándose por supuesto al máximo el gasto en irrigación. El ingeniero Torres Belón anota en su libro "El Lago Titicaca": "Se estima que en



Egipto, el país clásico del cultivo en riego, se asignan como término medio 0.27 lt/seg/Ha." En el departamento de Tacna se han dado concesiones para la explotación de 30,000 Has. por medio de irrigación del agua del subsuelo. El informe de ésta explotación que ha sido extractado del Boletín de Informaciones de la J.C. de E. A. (Mayo-Junio-60), hace también la aclaración de la cantidad de agua que se bombea anualmente.

Se aclara que si se tiene una superficie de 8,330 Km², como es la del lago Titicaca y se va a imponer un gasto de 50 m³/seg. y considerando un tiempo igual a 300 días (como tiempo de bombeo) se tendría un volumen equivalente a 1,296 millones de m³; si a este volumen se le divide entre la superficie del lago en m², se llegaría a una baja anual de 155 mm.

El informe de la J. de C. de E.A. en la iniciación de éste proyecto asegura que no hay estudios definitivos sobre la cantidad de agua que sale por el Desaguadero, pero pone como datos los informes dados por los siguientes ingenieros:

Forti	140 m ³ /seg.
Buchner	50 "
Rudolph	55 "
Monhein	20 "

Todos estos datos son aproximados y la diferencia que existe entre ellos mismos puede indicar varios aspectos; ya sea un mal control en el estudio, que el régimen del río no es constante o que el régimen del río sufre de grandes variaciones en diferentes épocas.

También informa que de los 1,020 Mw. que se obtengan deberán ser cedidos a la vecina república de Bolivia una parte, y la restante quedaría en beneficio para el Perú, no especificándose si serán 500, 600 y 700 Mw. Compara también la cantidad de kilowatios necesarios en la minería; dice: "Toquepala actualmente tiene una planta de 45,000 Kws. pero por comparación ha de necesitar mucho más. La Cerro de Pasco Corporation, organización similar, genera en sus diferentes plantas hidroeléctricas cerca de 150,000 Kws.; puede pues suponerse que sólo Toquepala utilizaría 100,000 Kws.; además hay las minas de Quellaveco y Cuaajone de la misma empresa que seguramente necesitarán también importantes cantidades de energía". El ferrocarril de Ilo a Toquepala, de 180 Kms. y que sube de 0 a 3,200 metros (ver plano) sobre el nivel del mar, podría ser electrificado, lo mismo que los ferrocarriles del Sur en sus tramos Mollendo-Arequipa y Arequipa-Puno.

Aumentarán las tierras de irrigación en 100,000 Has. por bombeo del agua del subsuelo. Se mejorarán las condiciones en cuanto a electricidad de las siguientes localidades: Arequipa, Mollendo, Matarani, Ilo, Moquegua, Tacna, Juliaca, Puno y otras más que todavía no disponen de la iluminación eléctrica.

El costo total de esta obra se calcula en 250 millones de dólares, en la siguiente forma:

Reactor atómico de 100 Mw.	\$ 30'000,000
1,400 Mw. a \$ 100/Kw.	140'000,000
Bombeo	30'000,000
Irrigación	<u>50'000,000</u>
	\$ 250'000,000

Se aconseja en el mismo informe de realizar la obra en forma progresiva de tal manera que la primera etapa será del orden de los \$ 73'900,000 con una producción de 283 Mws. y una ganancia para la irrigación de 20,000 Has. Costo que se haya repartido en la siguiente forma:

Reactor	\$ 30'000,000
Bombeo 10 m ³ /seg.	5'600,000
Primera Central de 58 Mw.	5'800,000
Segunda Central de 56.5 Mw.	5'650,000
Tercera Central de 56.5 "	5'650,000
Cuarta Central de 56.5 "	6'000,000
Quinta Central de 56.5 "	5'200,000
Sistema de irrigación hasta los 1,000 (s.n.M.)	<u>10'000,000</u>
	\$ 73'900,000

Esta primera etapa comprendería la instalación de la tubería que lleva únicamente los 10 m³/seg. La segunda etapa será para el tendido de la tubería de 17.2 m³/seg. y la tercera etapa para la tubería que lleve los 22.8 m³/seg. que completarían los 50 m³/seg. base a la cual debe llegar a completarse el proyecto, cada una de estas etapas tendría un costo de:

Segunda etapa	\$ 75'700,000
Tercera etapa	<u>100'400,000</u>
Total	\$ 176'100,000

Que sumadas al costo de la primera etapa llegan a la cifra de \$ 250'000,000, aproximadamente \$ 6,650'000,000.

En ningún caso las obras serán entregadas en menos de 5 a-

ños de trabajos continuos. Y los préstamos se harán de acuerdo a los avances que se hagan en la obra.

IRRIGACION DEL QUIROZ

La irrigación del Quiroz que se ha realizado en el Departamento de Piura, se hizo con el fin de ganar la cantidad de tierras necesarias para incrementar en lo que fuera posible la agricultura en la costa que, como se sabe, es de bajo rendimiento en la relación de hombre-tierra cultivada.

El costo total del proyecto integral, considerando la primera y segunda etapa, es como sigue:

COSTO TOTAL DEL PROYECTO INTEGRAL, PRIMERA Y SEGUNDA ETAPA

Costo de estudios y construcción obras de la primera etapa	S/ 201,282,868.66
Costo de construcción obras 2da. etapa	500,576,178.08
Intereses sobre los préstamos	<u>68,696,617.81</u>
TOTAL	S/ 770'555,664.55

De este total corresponde:

Al Valle de Piura	S/ 172'443,021.24
A las tierras nuevas de la irrigación San Lorenzo	<u>598'112,643.31</u>
TOTAL	S/ 770'555,664.55

De donde se saca como resultado que el costo por hectárea que se tiene es de:

COSTO POR HECTAREA DE LAS 47,000 HAS. DE TIERRAS NUEVAS
DE LA IRRIGACION "SAN LORENZO"

Gastos

1.- Costo de construcción de obras con intereses	\$/ 598'112,643.31
2.- Pago de expropiación de tierras	25'378,044.00
3.- Costos de estudios y levantamientos de planos topográficos contratados y hechos por la Dirección de Aguas	6'268,941.92
4.- Para la ampliación de la capacidad del canal Quiroz que se hará de inmediato	<u>2'000,000.00</u>
TOTAL	\$/ 631'759,629.23

Del total anterior se debe restar el valor recuperable del equipo de construcción, campamento y respuestos valorizado en

50'000,000.00

Costo de la Obra, neto

\$/ 581'759,629.23

Costo de la irrigación por Ha.

581'759,629.23 = \$/ 12,377.86
47,000

A los que se debe agregar:

1.- Trabajos de planeamiento agrícola del Scipa (incluyendo los presupuestos adicionales \$/ 7'575,000)	\$/ 33'075,000.00
2.- Sub-división de lotes según lo establecido en la Ley N° 13240 del 19 de Junio del pte. año, de la Irrigación y Colonización de San Lorenzo	<u>13'530,267.00</u>
	\$/ 46'605,867.00

Recargo del costo por Hectárea:

$$\frac{46'605,867.00}{47,000} = \text{\$/} \quad 991.61$$

Costo total por Hectárea:

Costo por irrigación	12,377.86
Recargo	<u>991.61</u>
TOTAL	\\$/ 13,369.47

Se han ganado con estas obras un total de 47,000 Has. para la irrigación San Lorenzo. Se ha considerado para los cálculos de estos costos un cambio de dólar de 1:19 por ser éste el tipo de cambio durante la casi totalidad del tiempo de construcción.

Se está cobrando un interés del 8%, lo cual hace que el capital que representa el canon de agua que se cobrará en la irrigación San Lorenzo será de \\$/ 125'000,000.00; esta suma deberá disminuirse del costo de la irrigación de las nuevas tierras de San Lorenzo, pudiendo bajar el costo de Has. en \\$/ 2,659.57.

ALGO SOBRE EL ANTEPROYECTO DE LA UTILIZACION DE LAS AGUAS DEL
LAGO TITICACA

Estas palabras no deben considerarse como una crítica definitiva del anteproyecto de la utilización de las Aguas del Lago Titicaca presentada por la Junta de Control de Energía Atómica, sin embargo existen algunos "peros" que deben ser enmendados en el anteproyecto.

- 1.- ¿Es dable el gasto tan inmenso de 250 millones de dólares para utilizar únicamente la tercera parte de la energía desarrollada?

Indudablemente que nó; el cálculo hecho a grosso modo del costo (que yo lo considero mayor), dá un gasto que no es posible hacerlo para utilizar única y exclusivamente la tercera parte, ya que se tiene que alrededor de 400 Mwe. serán utilizados para el bombeo de 40 m³/seg. y 500 Mwe. deberán ser dados a la república de Bolivia, que deberá por otro lado autorizar también la utilización de las aguas del lago. Se sabe que actualmente en la República sólo se abastece de 600 Mwe., teniendo algunas industrias y entidades particulares que contar con grupos electrógenos propios. Por otro lado, el gobierno de los Estados Unidos que sería el único capaz de hacer un empréstito de tal naturaleza para

la obra, lo daría bajo ciertas seguridades y a un tipo de interés no menor de 6 a 8% como está sucediendo últimamente.

2.- Respecto al orden internacional, la obra tendría que ser hecha con acuerdo de la República Boliviana, porque ella se beneficiaría en parte con 500 Mwe. pero por otro lado también pierde tierras cultivables por las aguas del Desaguadero que van al Poopo, y su población es típicamente minera o agricultora y no está preparada para una utilización razonable del fluido eléctrico dado por la obra, como el ser utilizada en una industria (hay desventaja en la falta de puertos para salida al exterior).

Por otro lado, cabe preguntarse si sería posible que emerjan tierras del lago Titicaca, como consecuencia del bombeo de $50 \text{ m}^3/\text{seg}$. Esto podría ser, pues ya hemos visto que hay diversidad de opiniones en cuanto a la salida de agua por el Desaguadero.

El Dr. Gonzalo de Reparaz en su curso de Geografía, dado en el Instituto de Urbanismo de la Universidad Nacional de Ingeniería dice:

"El factor evaporación es muy importante en el Lago Titicaca para los nuevos estudios de utilización del medio líquido.

"La evoporación en el Norte del País es mayor que en el Centro, que es poca, y vuelve a aumentar en el Sur (más que en el Norte)."

"Por tanto, el caudal del Lago se debe a dos factores:

<u>FACTORES</u>	<u>APORTES</u> (Mill.m ³ /año)	<u>PERDIDAS</u>
1.- Lluvias	5,062	Por el Desag. 630
2.- Afluentes	<u>7,718</u>	Por evaporac. <u>12,150</u>
	12,780	12,780

"5 mts. de Baja en el Lago Titicaca reduciría en 1,400 km² la superficie del lago, pero se aumentaría la superficie conseguida a los límites territoriales del Perú".

Según esto, no sería posible también que al emerger estas tierras ricas en cultivo, pueda existir divergencia en cuanto a límites.

3.- Por otro lado, puede ponerse una objeción en cuanto al cálculo de la energía del reactor, pues se ha considerado 75% de eficiencia en el bombeo. Esto no es cierto: la cantidad de agua bombeada es tan grande y demanda tan gran esfuerzo en las bombas que éstas sufrirán un desgaste considerable, por lo cual la eficiencia debe considerarse de sólo del 50% al 55% y por este motivo la energía que deberá dar el reactor no debe ser menor de 150 Mwe.

En este punto no considerado en el anteproyecto hace tambalear la cantidad de energía obtenida y el costo de la obra, que aumentará desde el reactor y de las bombas para los otros volúmenes de aguas hasta el costo de las Centrales, a las cuales también se les ha considerado turbinas y motores de eficiencias que van desde 95% a 90%.

4.- Se han considerado igualmente un tiempo de construcción de cinco años para cada etapa, o sea diez años de construcción en

total, esto sería siempre y cuando se contara con la cantidad de dinero en forma progresiva y que no hubiera paralización de la obra en cuanto a tratados de los nuevos empréstitos. Las obras del Cañón del Pato o de la Corporación del Santa comenzaron en el primer gobierno del presidente Prado (1940) y han terminado en 1959, después de 19 años de trabajo y de paralizaciones por falta de dinero, terminándose a un costo alto. La actual Central Eléctrica del Cañón del Pato sólo produce 50,000 Kws., pudiéndosele aumentar 100,000 Kws. más.

Se ha dado los costos de la irrigación San Lorenzo en el Quiroz, que también son altos, siendo sólo para agricultura, ya que no se han construído centrales de poder por no existir caídas.

RECONOCIMIENTOS DE ALGUNOS YACIMIENTOS DE HIERRO DE
TACNA Y MOQUEGUA

Del informe presentado por el Dr. en Geología Leonidas Castro y Alfredo Rosenweig sobre el estudio de reconocimiento de los yacimientos de hierro en Tacna y Moquegua, vamos a extractar algunos párrafos muy interesantes.

"GEOGRAFIA Y ACCESIBILIDAD.- En la costa de los departamentos de Tacna y Moquegua hay una cadena montañosa que se extiende desde el Morro de Sama en el Sur hasta Ilo en el Norte y desde el litoral hasta unos 25 kms. tierra adentro. En algunos sitios se llega a unir con las estricciones de la cordillera de los Andes. Son un conjunto de cerros de relieve considerable, llegando a tener el cerro Puite 1,634 metros de elevación".

"En la parte central de este macizo y a 15 kms. al WNW del río Locumba está el cerro Pelado, con una elevación de 400 a 600 m.s.n.m. Es la continuación del cerro Tanapache, cuyo punto más alto está a 1,124 m.s.n.m. Este cerro está limitado por el Norte por la Q. de Tacahuay. Mientras que la parte alta de este cerro tiene una topografía suave, las faldas son bastante escarpadas, especialmente hacia la quebrada mencionada y sus afluentes. Para llegar al cerro Pelado se parte del puesto de Aduana de Camiara hacia la costa. Este puesto está sobre la carretera Panamericana a 80 km. al Norte de Tacna y a 75 km. del puerto de Ilo. De este sitio se puede seguir por un camino de herradura solamente transitable por vehículos de doble tracción. Este sigue primero por la margen Oeste del río Locumba, continúa por la Pampa "El Pedregal", hasta llegar a El Abra de la quebrada Tacahuay, luego avanza por ésta hasta llegar al pie del cerro Pelado. Es una distancia de alrededor de 30 Kms. que se demora 1 1/4 a 1. 1/2 horas en recorrer. El Cerro Pelado está en línea recta, a

8 kms. del mar y a 35 Kms. del puerto de Ilo."

"A una distancia de 20 kms. al Sur-Este, en la margen Este del río Locumba, está el cerro Las Carcelinas con una altura máxima de 741 m.s.n.m. Es un cerro de aspecto ondulado y de topografía más suave que el anterior. Para llegar a este sitio se parte del Km. 62 de la Carretera Panamericana y se cruza una gran pampa hacia el SSW hasta llegar al pie del cerro Las Carcelinas. La distancia es 19 kms. aproximadamente y se demora 30 a 40 minutos en llegar. Este cerro está, en línea, a 10 kms. del mar y a 53 kms. de Ilo."

"GEOLOGIA GENERAL.- Los elementos principales de la geología en la zona de los yacimientos lo constituyen un batolito ígneo de probable edad cretácica, volcánicos del Terciario superior y sedimentos fluvio aluviales cuaternarios."

"La cadena montañosa a la que hemos hecho referencia más arriba está constituida en toda su extensión por rocas ígneas. Es un batolito costanero donde predominan las Dioritas, pero con diferenciaciones locales hasta el granito. Hay una zona definida de textura más fina de tipo andesítico, que se distingue topográficamente porque los cerros son más bajos, redondeados y tienen un color más claro que el resto. Esta zona ocupa una faja desde el margen Oeste del río Locumba hasta llegar al pie del cerro Puite y el Abra de Tacahuay. La relación de edad entre estos elementos no ha sido posible establecer en un reconocimiento de esta naturaleza. Además se distinguen numerosos diques aplíticos y lamprofíricos. Este batolito tiene la importancia económica de que en él se encuentran localizados los yacimientos de hierro conocidos hasta hoy en Tacna y Moquegua y algunas vetas de cobre. Cualquier exploración de hierro en el futuro seguramente debe comenzar con un reconocimiento detallado de esta cadena montañosa."

"Los volcánicos del Terciario superior están compuestos ma-

yormente por tufos y aglomerados volcánicos. Ocupan los bordes de la cadena de cerros, así como algunas quebradas anchas y pampas."

"Los depósitos Cuaternarios están compuestos por sedimentos fluvio-aluviales y de pie de monte. Están confinados a los valles, quebradas y algunas planicies. Para nuestro estudio tiene la importancia de cubrir posibles extensiones de cuerpos y vetas de fierro".

"YACIMIENTOS DE FIERRO.- Los yacimientos de fierro en estudio son de tipo filoniano localizado dentro de rocas ígneas dioríticas y se encuentran cercanas a una zona andesítica. En este tipo de yacimientos el mineral está en vetas o cuerpos lenticulares tabulares, donde la intersección con la superficie terrestre, generalmente tiene poca extensión superficial."

"La mayor parte del fierro en el mundo se explota a tajo abierto, puesto que su costo de extracción es muy inferior al de la minería subterránea. Así por ejemplo en el Perú generalmente se considera que la extracción de una tonelada a tajo abierto cuesta S/. 5.00 - 7.00, mientras que sacar la misma tonelada por minería cuesta S/. 70.00 (1957). Es pues evidente que sólo en casos excepcionales se justifica la explotación por minería subterránea."

"Por otro lado sólo se puede realizar una explotación a tajo abierto mecanizada, cuando las extensiones superficiales del mineral que afloran son tales que permita el uso económico de estos equipos."

"Más del 90% del mineral de fierro que se extrae en el mundo proviene de yacimientos de tipo sedimentario y sólo el resto corresponde a yacimientos de contacto, lateríticos y filonianos. Estos últimos sólo se explotan en algunos sitios de Suecia, Noruega, EE. UU., México, etc. donde las dimensiones aflorantes son grandes y las reservas cúbicas fuertes. "

"En toda la costa sur del Perú se conocen yacimientos filonianos de fierro, tales como Yaurilla (Ica), Acari (Lomas), Tacna y Moquegua."Este mismo tipo de yacimientos se continúa encontrando en Chile en las provincias de Coquimbo y Atacama. De todos estos yacimientos los únicos que se explotan en la actualidad son los de El Tofo en Chile, por la Bethlehem Steel Co."

"Todos estos yacimientos filonianos en los contrafuertes costeros andinos tienen una serie de factores geológicos comunes. Así, todos son más o menos tabulares o lenticulares, de mineral bastante puro y con una ley cercana al 60% de fierro. Se encuentran localizados dentro de rocas ígneas, mayormente de tipo diorítico y están cercanos al contacto de porfiríticas de tipo andesítico "

Entra dentro de ésta explicación de los yacimientos de fierro en Tacna y Moquegua, la descripción de los cerros más ricos en este mineral. El Dr. Castro ha extractado de éste informe y de una visita posterior realizada para los estudios presentados sobre geología en Tacna y Moquegua, para optar el grado de Dr. en Geología, una síntesis que es la siguiente:

"SAMA.- CERRO PELADO, MORRITOS, MORRO DE SAMA.

"Ubicación.- Los yacimientos de hierro se encuentran en todo el sistema de montañas bajas del sistema del Morro de Sama.

"Cerro Pelado en la provincia de Mariscal Nieto, del Departamento de Moquegua y el Cerro Morritos en la Provincia de Tacna del Departamento de Tacna. "

"Existe en el propio Morro de Sama y vecindades otros afloramientos de hierro."

Geografía.- El sistema de montañas bajas de 400 a 600 mts. de altitud sobre el nivel del mar, caracteriza a la región y se

hallan en ambos márgenes del río Sama, vecinos al mar. La región costera y desértica, el cerro más alto es el Puite con 1,634 mts sobre el nivel del mar. En la región existen lomas y se hallan los yacimientos cerca del puerto de Ilo.

"Geología.- Todo el sistema de colinas y el propio Morro de Sama está formada por rocas ígneas del tipo Diorita y Grano-Diorita del Cretácico superior, cubriendo a éstas hállase la toba volcánica del Terciario superior. La formación Moquegua continental es Cuaternaria Inferior, y está formada por alteración de las tobas volcánicas y tufos Riolíticos en general. Además se encuentra dentro de esta formación areniscas y conglomerados".

"La región muestra una excelente zona de peniplanización con llanuras bajas y cubiertas en algunos sectores de lomas.

"Geología económica.- En el Cerro Pelado hay un sistema de vetas, unas con dirección NW-SE y otras -W."

"Existe una gran bolsonada de hierro dentro del cuerpo del Cerro. El mineral es hematita y también hay Magnetita. El cuerpo principal tiene un filón de 700 metros de largo por 35 de ancho, con mineral de hierro de 53% como promedio."

"Existen otras vetas con 25 metros de potencia, 50-52% de hierro y corridas visibles de 200 metros, otras vetas menores de 2-3-6 mts. de potencia y algunas decenas de metros de longitud."

"En el Cerro Morritos se encuentran siete vetas en la concesión Silvinoy, otras tantas en las concesiones vecinas. Las vetas principales con 700 metros de largo con potencias de 5,7 y 9 metros de espesor, con minerales de hierro de 65-70%. Existen otros filones menores con 2, 3 y 4 metros de potencia y corridas de cientos de metros."

"Existe una diversidad de vetas en toda la región del Morro de Sama y su sistema de colinas bajas. No se ha practicado un estudio con sondajes, pero a priori se puede estimar todo el yacimiento con 20 a 30 millones de toneladas de mineral como resultado de exploración superficial".

DATOS SOBRE LA ZONA DE SAMA

Hablemos ahora sobre la zona de Sama o, en otras palabras, sobre la cuenca en sí del Río Sama; los datos que vamos a dar a continuación han sido extraídos de la tesis doctoral del Ing° en geología Leonidas Castro.

CLIMA

Tacna tiene marcados tipos climáticos, pues en la costa el clima es seco, semidesértico, con lluvias escasas debajo de 200 mm.; es zona semiárida desde los 2,000 m.s.n.m. Existen sin embargo lomas con vegetación silvestre en los ríos Sama, Locumba y Moquegua (durante los meses de Junio a Agosto).

Los días de calor tienen de 25-28°C. y en verano encima de los 30°C. Pero en la Ciudad de Tacna, corre un viento frío por las mañanas y tardes, teniéndose una temperatura de 20° C.

Encima de los 2,000 mts. (sierra) hay un clima templado y fresco, precipitación moderada de 200 - 300 mm/anuales, en zonas más altas llega a 400 mm/anuales.

También existe una mayor precipitación en las cercanías de la cordillera del Barroso, en la vasta meseta que comprende desde Tarata hasta Candarave, Corumas, Omate, Ichiña, Matalaque y Ubinas. En la Meseta del Collao la precipitación llega a los 600 mm/anuales o más, y en otros sitios hasta 1,000 mm/anuales.

Arriba de los 4,000 m.s.n.m. la vegetación es raquíutica, lo cual denota una gran evaporación, y es una zona con pequeños escurrimientos subterráneos.

Sin embargo, en la cuenca del Río Sama, así como la del Locumba, Moquegua, Tambo y Mauri, existe vegetación que permite el drenaje subterráneo de varios cientos de lts/seg.

El clima húmedo de la alta cordillera y la gran extensión de bofedales permiten formar cuencas acuíferas subterráneas almacenadas en la meseta Andina, y cuyas aguas se pierden por evotranspiración de las plantas herbáceas en la Puna.

RIO SAMA

Por la unión del Tala y el Salado se forma el Río Sama, el Tala viene desde la región de Tarata y el segundo de la Meseta del Río Aruma que desagua de la laguna de Aricota y el Jaruma o Ticalaco.

La cuenca desde los 2,000 m.s.n.m. se estima en 750 a 760 Km², La precipitación puede considerarse entre 400 a 600 mm/anales.

La evaporación de la cuenca es menor que la del Caplina, conduce mayor cantidad de escorrentío.

Pierde al mar entre 4 a 6 m³/seg., en épocas de lluvias, aún con el aprovechamiento de líquido en la irrigación de Ite-Norte.

Existe en la zona cercana depósitos cuaternarios y acumulación de materiales fluvio-aluviales.

Las aguas del sub-suelo de la Yarada representan un reservorio líquido infiltrado durante muchos siglos, desde la formación de los sedimentos del subsuelo de este sector.

EVAPORADOR PARA 50 MGD.

Por consejo, y bajo la vigilancia de la Fluor Corporation Ltd. se está fabricando un reactor nuclear que producirá 50 MGD. (millones de galones día) con un costo de 30'700,000.00 dólares. Este reactor ha sido también diseñado para la utilización de un sistema de conversión del agua de mar, del tipo de evaporación instantánea con múltiples efectos (52 etapas), que son las que producirán los 50 MGD.

El Reactor es del tipo que usa agua a presión. El costo del Evaporador es como sigue:

<u>COSTOS</u>		<u>Porcentaje</u>
Excavación y nivelación	\$ 2'081,600.00	6.8%
Concreto y mampostería	734,200.00	2.4
Acero estructural	50,000.00	0.2
Componentes del edificio	49,500.00	0.2
Equipos y maquinaria	22'562,700.00	73.5
Tuberías	1'079,100.00	3.5
Electricidad	101,400.00	0.3
Instrumentos y controles	290,500.00	0.9
Aislantes, pinturas y andamiajes	<u>494,500.00</u>	<u>1.6</u>
	27'443,500.00	89.4%
Costo indirecto	<u>3'256,500.00</u>	<u>10.6</u>
TOTAL	\$ 30'700,000.00	100.0%

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que el evaporador instantáneo de múltiples etapas tiene un costo de \$ 1'700,000.00 cuando la producción es de sólo 1 MGD., siendo su costo especificado como sigue:

COSTOS

Excavación y nivelado	\$ 64,400	3.8 %
Concreto y mampostería	103,300	6.1
Acero estructural	19,500	1.1
Componentes del edificio	39,500	2.3
Equipo y maquinaria	639,310	37.6
Tuberías	278,055	16.3
Electricidad	46,265	2.7
Instrumentos y control	54,030	3.2
Aislantes, pinturas y andamiaje	29,800	1.8
Sección del calentador	<u>86,000</u>	<u>5.1</u>
	\$ 1'360,160	80.0 %
Costo indirecto	<u>339,840</u>	<u>20.0</u>
TOTAL	\$ 1'700,000	100.0 %

Las características de este evaporador instantáneo de múltiples etapas serán:

Número de etapas	52
Máx. temperatura °F. Salmuera	220
Temperatura del agua producida °F.	89.1
Temperatura del agua de mar °F.	57
Concentración del agua de mar	33,600 ppm.
Concentración de la salida de salmuera	57,000 ppm.
BTU./lib. de Producción	69.7
Velocidad del agua de mar en los tubos, pies/secc.	5
Total del área de tubos, pies ²	6'900,000.

La vida que se ha considerado para la planta es de 23 1/2 años y con un interés del 4% anual que se repartirá en la siguiente forma:

VIDA DEL EQUIPO Y CARGOS DE AMORTIZACION 50 MGD

<u>Estructuras</u>	<u>Años</u>	<u>Costo</u>	<u>Costo de Amortizac.</u>
Recipientes	10	\$ 228,600	\$ 81.9
Equipo auxiliar	10	251,700	90.0
Tubería de acero	15	1'351,600	352.0
Calentador de salmuera	15	502,100	131.0
Intercamb. de calor	15	198,000	51.6
Tubería de concreto	20	915,000	195.2
Tubos del evaporador	22	15'160,000	3,040.0
Bombas y arrancadores	28	3'068,000	534.0
Celdas de evaporación	30	6'673,000	1,120.0
Edificios	40	187,000	27.4
Reservorios	50	<u>2'165,000</u>	<u>292.3</u>
		30'700,000	5,915.4 †

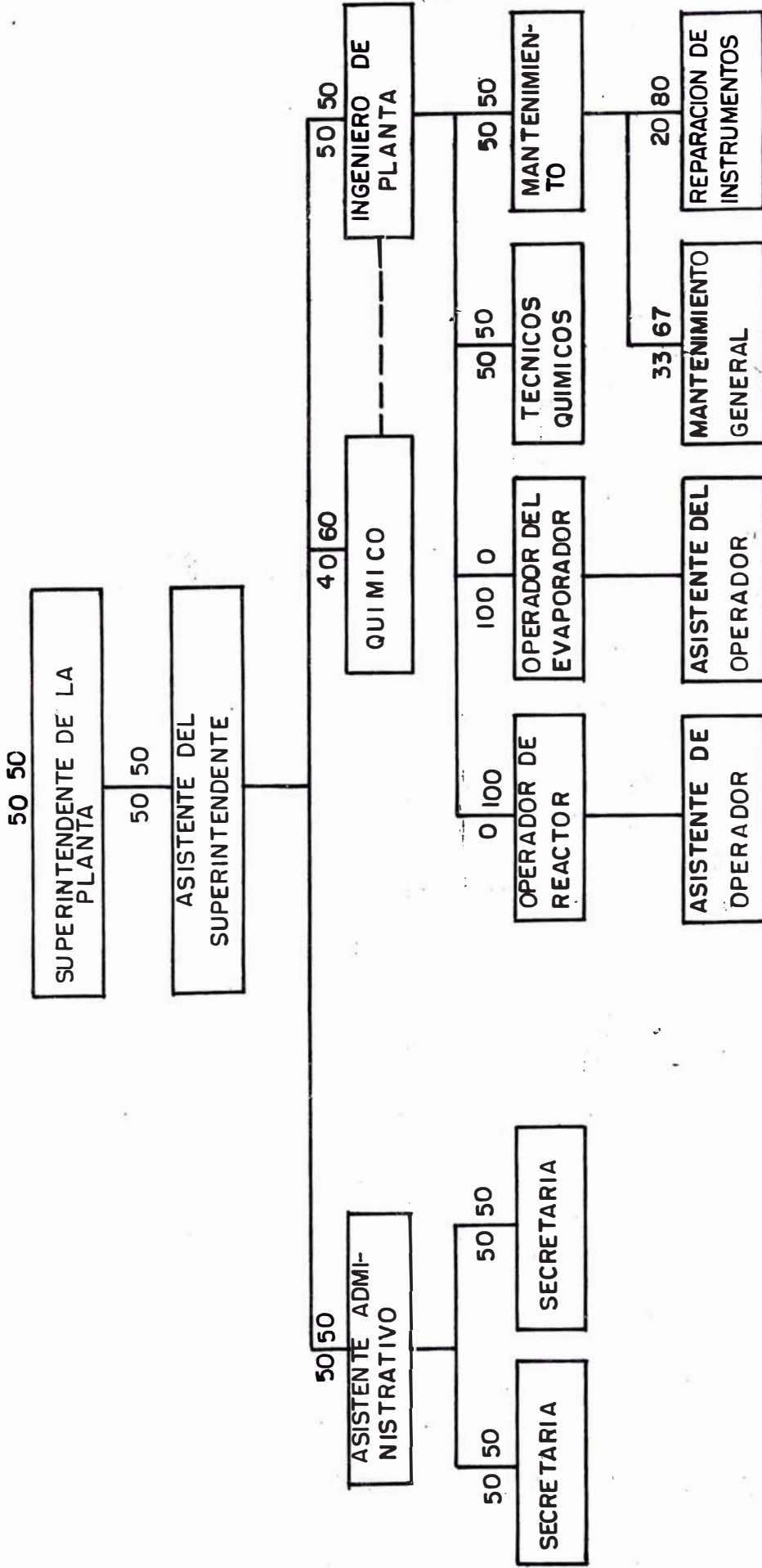
Para una ventaja de vida de 23 años.

† Interés del 4% anual.

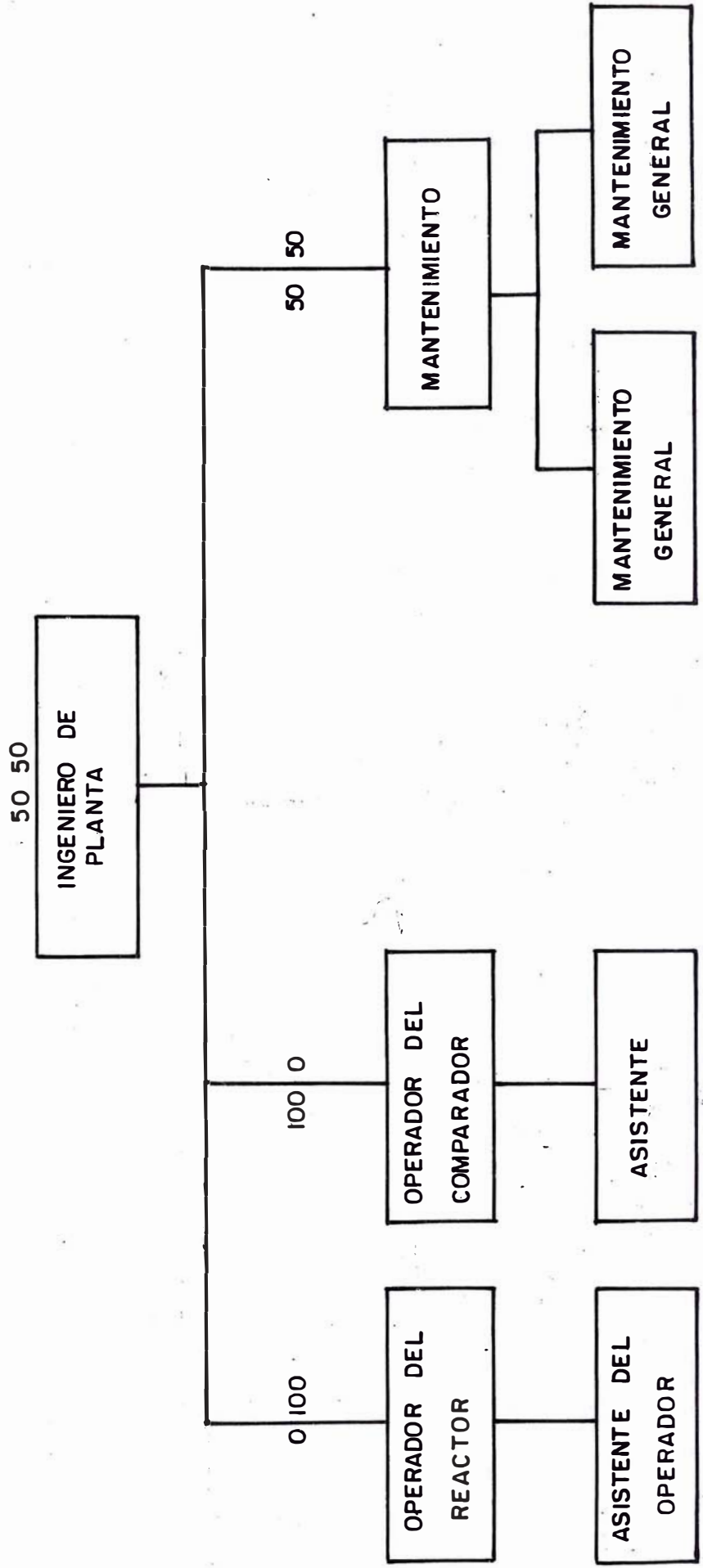
Debe considerarse para el interés de empréstitos otorgados por los Estados Unidos a otros países de 6-8%.

Es siempre bueno que en todas estas consideraciones en cuanto al funcionamiento del reactor deberán tomarse en cuenta la organización del trabajo designado a cada uno de los ingenieros o técnicos a cargo de ella, indicando el número o porcentaje de tiempo que deberá disponer en su labor, tanto para el reactor como para el evaporador.

ORGANIZACION DEL DIA DE LABOR



ORGANIZACION DEL TURNO DE TRABAJO



La organización de trabajo del día de labor que queda completado con un diagrama también de la organización de turnos del trabajo, se puede apreciar en los diagramas que siguen en páginas posteriores.

Los gastos por sueldos para estos ingenieros o técnicos por año es como sigue:

<u>Ingeniero o técnico</u>	<u>Sueldo anual</u>
Superintendente de la planta	\$ 11,400
Asistente del superintendente	9,900
Asistente de administración	8,400
Ingeniero de planta	9,900
Químico	8,900
Operador del evaporador	7,000
Técnico químico	6,700
Técnico de mantenimiento	6,600
Secretaría	4,800
Asistente del operador del evaporador	6,000
Reparador de motores	7,000
Mantenimiento general	<u>5,400</u>
TOTAL	\$ 92,000

Es decir un total de \$/ 2'576,000/año al cambio de \$/ 28.00 por dólar.

Después de mostrar a Uds. los problemas de la aplicación de uno de los sistemas y de darles a conocer los informes sobre los costos y sobre los yacimientos de hierro de Moquegua y Tacna, vamos a aprovechar de ellos para darles idea sobre el proyecto.

No queríamos entrar de lleno a una aplicación sin tener una base firme en la cual justificarla, es por ello que nos basamos en los informes sobre los yacimientos de hierro, en el interés de Compañías extranjeras y de capitales nacionales para su explotación (cuyo primer paso será la construcción de un puerto en la Caleta "El Morro"), y en los datos sobre la zona de la cuenca del Río Sama.

Quiero sin embargo hacer una aclaración: algunos datos son extraídos sobre informes confidenciales, sobre los cuales no he podido exponerme debidamente; asimismo, he tropezado con el hermetismo comprensible de algunas otras compañías, pero Uds. podrán hacerse cargo de éstas razones.

Entremos pues a dar la "Idea sobre la Aplicación"

IDEA SOBRE LA APLICACION

ANTEPROYECTO

El trabajo que se presenta en esta segunda parte de la tesis es sobre la aplicación de uno de los métodos para la conversión del agua de mar, pero ello no era posible si se consideraba única y exclusivamente el tratamiento del agua de mar, pues, era necesario formar un centro industrial que podría crearse por la construcción de una planta de poder que diera la energía necesaria para mover a dicha industria.

Esto podría realizarse por la aplicación de un reactor nuclear que abasteciera la energía suficiente para la conversión del agua de mar y de corriente eléctrica que podría usarse en el Centro Industrial por formarse.

Si nosotros aplicásemos el reactor cuyas características hemos dado en páginas anteriores, se obtendrían 50 millones de ga-

lones diarios que gastan 370 Mwt., pero por consultas hechas al ingeniero Ignacio Frisancho Pineda de la Junta de Control de Energía Atómica de si se podría utilizar parte de ésta energía para la obtención de corriente eléctrica, se llegó después de otras consultas a libros sobre la energía nuclear a la conclusión de que sí se puede realizar.

¿Cómo puede hacerse esto?

Sabemos que el reactor dá 370 Mwt.; por otro lado nosotros necesitamos para una industria siderúrgica y para un horno que dé 1,000 toneladas de fierro cochino o "arrabio" un gasto en el tratamiento de éste de 11 MGD. de agua, considerando que no es conveniente (según la productividad) una producción no menor de 50,000 toneladas/anuales de hierro y no más de un millón de toneladas/anuales, para una industria siderúrgica. La población de éste centro considerando 6 miembros por personal (obreros y empleados), así como la utilización de 8,000 obreros, tanto para la siderúrgica como para otra industria, como podría ser también el tratamiento de cobre que utiliza de 4 a 5 partes en peso de agua por parte de mineral (concentración del cobre por flotación) se utilizaría la cantidad de galones necesarios hasta completar 20 MGD. que resultarían de la conversión del agua de mar.

Los 20 MGD. consumirán 170 Mwt. que serán regulados por una válvula, y los 200 Mwt. restantes producirían entre 50.-61.5 Mwe. o sea de 50,000 a 61,500 Kws. de los cuales 20 Mwe. deberán ser aprovechados en la obtención del agua del subsuelo (un poco salobre) para la irrigación de las pampas de la Cruz Verde, los

Cerrillos y los Patanillos. Deberá darse una ley que defienda la irrigación de ésta zona limitando un sector de mas o menos 10 a 20 kms. a uno y otro lado del río Sama, que parta desde los 800 m.s.n.m.

Podría también hacer pasar todos los Mwt. a la turbina y después de su paso por ella tratar el agua de mar, pudiendo obtenerse de 90 - 110 Mwe. pero la caída de presión así como de temperatura a la salida de la turbina (turbo-generador) podría no ser suficiente para obtener los 20 MGD.

¿Cuál sería la cantidad posible de agua por ésta energía?

Si nosotros aplicáramos la fórmula dada durante la aplicación de la utilización de las aguas del lago Titicaca, se tendría la siguiente:

Suponiendo una profundidad para cada pozo de 80 a 90 metros y un factor de eficiencia no mayor de 65% se tiene:

$$W_b = \frac{9.8 \times 1.1 H_r Q}{0.65} = 16.6 H_r Q$$

De donde se puede extraer:

$$Q = \frac{W_b}{16.6 \times 90}$$

$$Q = \frac{20,000 \text{ Kws}}{16.6 \times 90} = 13.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Los otros 30 Mwe. deberán utilizarse si ello fuera posible en la población, industria, y la electrificación de un ferrocarril que traería el mineral desde los Cerros Morritos y el Pela-

do hasta la siderúrgica y después hacia el puerto para su embarque. Este es en grandes rasgos la idea que lleva a cabo ésta segunda parte de la tesis.

¿Por qué escogemos la zona de la cuenca del Sama?

Era necesario debido al costo del reactor no sólo la producción de agua potable sino interesaba también la producción de energía eléctrica. Por ello era necesario ubicar una zona en la cual podía edificarse una industria grande que aprovechara al máximo esta energía.

Por consultas hechas al ingeniero Renato Rossi (agrónomo), y catedrático del curso de planeamiento agrícola del Instituto de Urbanismo, sobre las posibles zonas para un mejor aprovechamiento de las tierras cultivables y también de la cercanía a las fuentes de materia prima, como son las minas. Se me indicó en esa oportunidad una zona que por su ubicación cumple con todas estas características, como ser: ricos yacimientos de hierro filoniano a lo largo de la costa, y su posible explotación, la cercanía a las minas de Toquepala (gran centro minero). Las reservas de hierro por informe mostrado anteriormente, del Dr. en geología L. Castro, serán de 20 a 30 millones de toneladas, las cuales si son tratadas en una siderúrgica cuya producción anual es de 360,000 tons/anuales (1,000 tons/día) se tendría una vida para la siderúrgica como abastecimiento de materia prima de 60 a 90 años.

También se tiene ricas tierras para la agricultura, que se hallan en las pampas que circundan y forman la cuenca del río Sa

ma. Nos cabe sin embargo preguntarnos ¿cuál sería la cantidad de agua necesaria para la irrigación en esta zona?. Para contestar a ésta pregunta podemos recurrir al "sistema de clasificación de las formaciones vegetales o zonas de vida natural del mundo" del Dr. L.R. Holdridge, quien hizo estudios de la vida vegetal en las diferentes zonas, y altitudes, pudiendo clasificar estas formaciones; de éste estudio salió a luz el famoso triángulo de clasificaciones. La zona de la cuenca del Sama, es una región, como lo hemos apreciado en el acápite "Datos sobre la Zona de Sama", cuya temperatura se encuentra entre 25-28° C. en día de calor, pudiendo llegar a más de 30° C. en el verano, en el invierno, aun cuando no se tiene datos, puede considerarse una baja hasta los 18°C., es decir que durante el año existe una diferencia de temperatura de 10°C. a 12°C. Como para una diferencia de 1°C. debe haber 58.93 mm anuales de precipitación para una tierra de cultivo, se debe tener que para los 10°C. a 12°C. que existen en esta zona deberá tenerse de 600 a 650 mm. anuales de precipitación. Por otro lado en el mismo acápite decimos que en esta región la precipitación es de apenas 200 mm/anuales, luego los 400 a 450 mm/anuales que nos faltan para completar los 600 mm/anuales deben ser dados por una irrigación artificial, lo cual nos dice que para irrigar artificialmente 1 m² de estas pampas necesitaremos alrededor de 0.45 m³/año.

Estos datos nos dicen también que hay necesidad de 4,500 m³/año para irrigar una hectárea de terreno, es decir que se tendría alrededor de 12.3 m³/día y por Ha. que deberán ser abasteci

dos por la explotación de pozos, utilizando los 20 Mwe. Es decir:

$$Q = 13.4 \text{ M}^3/\text{seg. (que se obtiene con los 20 Mwe.)}$$

$$Q_t = 1'158,000 \text{ m}^3/\text{día.}$$

$$\frac{Q_t}{Q'} = \text{aproximadamente } 93,000 \text{ Has.}$$

$$\text{siendo } Q' = 12.3 \text{ m}^3/\text{día}/\text{Ha.}$$

Esta cantidad tan inmensa de Hectareaaje puede reducirse por filtraciones y evaporaciones en la mitad, pudiendo explotarse alrededor de 40,000 Has.

No hay problema en la instalación del reactor, pues el suelo es de una resistencia que varía entre 2 - 3 Kg/cm², en las cercanías del Morro de Sama.

Hay firmas particulares interesadas en la construcción de un puerto de embarque en el punto denominado Caleta el Morro y en la explotación de los yacimientos de hierro de esta zona.

COSTO DEL ANTE PROYECTO

El costo del proyecto al cual se ha dado idea anteriormente, vamos a darlo en forma general, y él comprenderá la construcción de la Planta Nuclear, instalación de la planta para la turbo-generación, la instalación del sobre-calentador a petróleo, construcción de la planta destiladora, costo de la irrigación, al final se pondrá el costo aproximado por Hectareas, construcción y electrificación del ferrocarril y de la población así como de la siderúrgica o zona industrial en general, costo de construcción de la siderúrgica y de una planta de tratamiento de cobre. Se hace la aclaración que el proyecto es para producir 90 - 110 Mwe y 20 MGD. que pueden obtenerse utilizando el sobre-calentador a petróleo.

Por falta de datos precisos sobre algunos costos, hemos tratado de dar un costo aproximado, sobre algunos de los puntos como será la construcción de la siderúrgica y de la planta de tratamiento de cobre, así como la construcción y electrificación del ferrocarril que va desde las minas a la siderúrgica y desde ella al puerto.

Asimismo se ha considerado aproximada la distancia recorrida por el ferrocarril o por los alambres portadores de potencial eléctrico pues este problema es de incumbencia de ingeniería civil.

Comencemos pues con estos costos:

COSTOS DE IRRIGACION

<u>Título</u>	<u>Costo en S/</u>
Torres para electrificación (4,000 soles c/u. en 80 kms. de distancia)	160,000
Alambre para transportar 20 Mwe (S/ 200 ml)	18'000,000
Perforación de 180 pozos (S/ 2,000 ml. 90m c/u.)	32'400,000
Bombas para los pozos (S/ 180,000 c/u.)	32'400,000
Canales de irrigación (de distribución)	<u>50'000,000</u>
TOTAL	S/ 132'960,000

COSTOS DE ELECTRIFICACION Y CONSTRUCCION DEL FERROCARRIL DE LA POBLACION Y ZONA INDUSTRIAL

<u>Título</u>	<u>Costo en S/</u>
90 Kms. de ferrocarril (aprox. S/ 1'500,000/Km.)	135'000,000
Población y zona industrial	<u>10'000,000</u>
TOTAL	S/ 145'000,000

COSTO DE LA SIDERURGICA Y DE LA PLANTA PARA COBRE

<u>Título</u>	<u>Costo en S/</u>
Siderúrgica	300'000,000
Planta de tratamiento de cobre por flotación	<u>50'000,000</u>
	S/ 350'000,000

COSTO DE LA PLANTA DE PODER Y DEL EVAPORADOR

<u>Título</u>	<u>Costo en S/</u>
Reactor Nuclear y Planta	350'000,000
Planta turbo-generadora (92.5 Mwe - 110 Mwe)	234'000,000
Costo del sobre calentador de petróleo	67'500,000
Plantas de destilación (para 20 MGD)	<u>650'000,000</u>
	S/ 1,301'500,000

El costo de la planta de poder así como del evaporador está dado con el 10% del costo indirecto (Proyectos, anteproyectos y administración), al igual que un pago de interés del 4% anual como amortización, pero debe considerarse que los empréstitos para el extranjero son recargados con un interés del 6 al 8% anual. Por este motivo el costo total de la planta así como el evaporador se considerará en:

COSTO TOTAL : S/ 1,400'000,000.00

Pasaremos entonces a considerar el costo Total General del proyecto:

COSTO GENERAL DEL PROYECTO

<u>Título</u>	<u>Costo en S/</u>	<u>Costo en \$</u>
-Central de poder y Evapor.	1,400'000,000	51'900,000
- Siderúrgica, planta de tratmto de Cobre (12% de Proyecto y administr. y 8% de inter.)	492'000,000	18'400,000
- Construcción y electrificación del Ferrocarril, alumbrado de la ciudad y elect. de zona industrial (12% más 8% de interés)	214'000,000	8'000,000
- Irrigación (12% y 8% de interés)	<u>196'460,000</u>	<u>7'270,000</u>
TOTALES	2,202'460,000	85'570,000

El costo ha sido calculado para pagarse en 20 años.

Veamos ahora un aspecto interesante, que es el costo para la irrigación por Hectárea.

COSTO POR HECTAREA

<u>Título</u>	<u>Costo en S/.</u>	<u>Costo en \$</u>
Costo de Irrigación (Traslado de potencial eléctrico pozos)	196'460,000	7'270,000
Costo correspondiente a la planta de poder, turbo-generador y sobre-calentador)	130'300,000	4'925,000
TOTAL	326'760,000	12'195,000

Costo de obras por Hectárea:

$$\frac{326'760,000}{40,000} = \text{S/ } 8,175.00/\text{hectárea}$$

Al que deberá agregarse:

costos por planeamiento y subdivisión de tierras en S/ 1,000.00/hectárea

TOTAL S/ 9,175.00/hectárea

Otro costo interesante de calcular será el del poder eléctrico:

COSTO POR Kws.

<u>Título</u>	<u>Costo en S/.</u>	<u>Costo en \$</u>
Costo de la Planta de poder nuclear	350,000,000	13'000,000
Planta turbo generadora	234'000,000	8'650,000
Sobre calentador de petróleo	67'500,000	2'500,000
TOTAL:	651'500,000	24'150,000

$$\frac{651'500,000}{100,000 \text{ Kws}} = \text{S/ } 6,515.00/\text{Kws.} = \$ 242.00$$

COSTO DE PRODUCCION DE 20 MGD. DE AGUA

<u>Título</u>	<u>Costo en S/</u>	<u>Costo en \$</u>
Costo de planta de evaporación	650'000,000	23'000,000

Luego:

$$\frac{650'000,000}{75'000,000} = \text{S/ } 8.65/\text{litro}$$

Pero esto es el costo pagadero en 20 años, luego el recar-go que por éste motivo se hará en un m³ de producción por día será aproximadamente:

$$\frac{8.65 \times 1000 \text{ lts}/\text{m}^3}{7300 \text{ días}} = \text{S/ } 1.00/\text{m}^3 \text{ de producción}$$

A los cuales habrá que agregar el costo de una planta de tratamiento por clorinación, que sea diseñada según la convenien-cia del caso, así como también los gastos de control y adminis-tración de la planta nuclear. Todo esto puede considerarse en 0.45 ctvs., con lo cual se llegará a un costo de 1.45 soles por metro cúbico de agua destilada.

A los costos de Kws. también debe considerárseles que es en 20 años y que hay que agregarles gastos de mantenimiento; el costo anterior de 6,515 soles por Kws. es pagadero en 20 a-ños y sólo por construcción de la Central de poder; la adminis-tración, conservación y gasto de combustible deberá agregársele aparte.

CONCLUSIONES DEL ANTEPROYECTO

Anteriormente habíamos dicho algunas palabras sobre el anteproyecto de la utilización de las aguas del Lago Titicaca.

Tenemos ahora que determinar las conclusiones a las cuales debemos llegar y justificar la instalación de un reactor nuclear en la zona del Río Sama, o mejor dicho de la Cuenca del Sama (Tacna).

- 1.- Los costos de obra dados para el anteproyecto de la utilización de las aguas del Lago Titicaca, dan únicamente idea del capital necesario para la construcción de las Centrales, y sin tener en cuenta los que corresponderían a las electrificaciones a que ellos dan idea, como son la del ferrocarril de Matarani-Arequipa, la de las ciudades, explotación de pozos para irrigar 100,000 Hectáreas, etc.
- 2.- El tiempo de duración de las obras es de no menos de 15 años, considerando a 5 años por etapa.
- 3.- El costo de obra del proyecto expuesto en esta tesis es de \$ 83'670,000 equivalentes a S/ 2,152'460,000 pagaderos en 20 años al 8% de interés. Pero en este costo no debe considerarse únicamente la planta de poder, sino la construcción de una siderúrgica capaz de producir 1,000 toneladas diarias de hierro, con una producción anual de 365,000 toneladas, así como la construcción y electrificación de un ferrocarril de carga para las mi-

nas que se encuentren en la zona. El costo de producción de agua destilada tanto para la industria como para la población, está también incluido, al igual que el costo de explotación de pozos para irrigación.

- 4.- La Planta de poder podrá ser construída e instalada en 2.1/2 años, pudiendo entrar en funcionamiento al cabo de ellos, la tierra de cultivo se explotará a los cuatro años de iniciarse la construcción de la Planta.
- 5.- Se tendrá la posibilidad de la obtención de radioisótopos que producirá la planta nuclear, así como también otros elementos radio-activos.

C O N C L U S I O N E S

Consecuencia de todo el trabajo de recopilación y de la idea de un anteproyecto como el dado en páginas que anteceden, tiene que ser las conclusiones a las que se llega.

- 1.- Los sistemas de tratamiento de agua de mar no son convenientes al Perú, si sólo se les considera a ellos como de conversión, sin tener en cuenta la producción de corriente electro-motriz.
- 2.- De los sistemas estudiados, puede utilizarse el de electrodiálisis, para el tratamiento de aguas salobres o salinas que afecten algunas fábricas, que en su producción necesitan aguas de ciertas características. Si hubiera capitales nacionales interesados en la producción de éste tipo de membranas puede bajar el costo de los "stacks". Actualmente el Perú es un buen fabricante de materias plásticas.
- 3.- Los costos actuales no son convenientes para la conversión de agua de mar con el solo fin de irrigación.
- 4.- Los balnearios que adolecen por tener agua de gusto salobre, o bien algunas ciudades que tengan este mismo problema, es aconsejable que utilicen el sistema de electrodiálisis que puede ser instalado sin que sea interrumpido el sistema de aprovechamiento por mucho tiempo.

5.- Para plantas de poder y de destilación es aconsejable y económico la instalación de un reactor atómico.

B I B L I O G R A F I A

Sistema de Evaporación

Catálogos de la Maxim Silender.

Catálogos de la Cleaver-Brooks.

Informe de la Oficina de Aguas Salinas 1952 al 1959.

Servicios públicos (Revista Enero-Febrero y Marzo-Abril 1960)

A.W.W.A. (revista).

Mecánica popular (Julio 1959).

Periódicos americanos.

Sistema Solar

Mecánica Popular (Julio de 1959).

Saline Water Conversion Report for 1957.

Saline Water Conversion Report for 1958-1959.

La Revista Du-Pont - Julio, Agosto 1959 tomo XXIX No. 4, por Frank E. Edlin.

A.W.W.A. (1958-1959).

Informaciones de periódicos.

Sistema de electrodiálisis

Química del agua y desagües, copias de la Universidad de Michigan (Ing. Dante Muñoz).

Industrial and Engineering Chemistry (47,53 de 1955)

Annual Report 1958 Ionics.

Combustion, Junio 1956, por T. A. Kirkham

Fresh Water from saline source - Ionics.

Operación sobre la planta de desmineralización de abasteci-

miento del agua municipal de la ciudad de Coalingas.-
William E. Katz, 152 sixth street Cambridge, Massachusetts.
Water works engineering, Agosto 1958 y Abril 1959.
Industry Abril de 1957
Chemical Engineering Progress, Abril de 1957, págs. 190-93.
Civil Engineering, Abril de 1956.
American Water Works Ass. (44, 845 - 1952)
Informes recibidos de Alemania.
Mecánica Popular, Abril de 1959.
Reports de la Oficina de Aguas Salinas 1952-1959

Sistema Regrigerante.

Revista Servicios Públicos (Enero a Marzo 1960).
Report de la Oficina de Aguas Salinas.
A.W.W.A. de 1958-1959-1960.

Otros sistemas

Método Francés. Por información del Ingeniero A. Capestan.
Método Atómico. Por la Junta de Control de Energía Atómica.