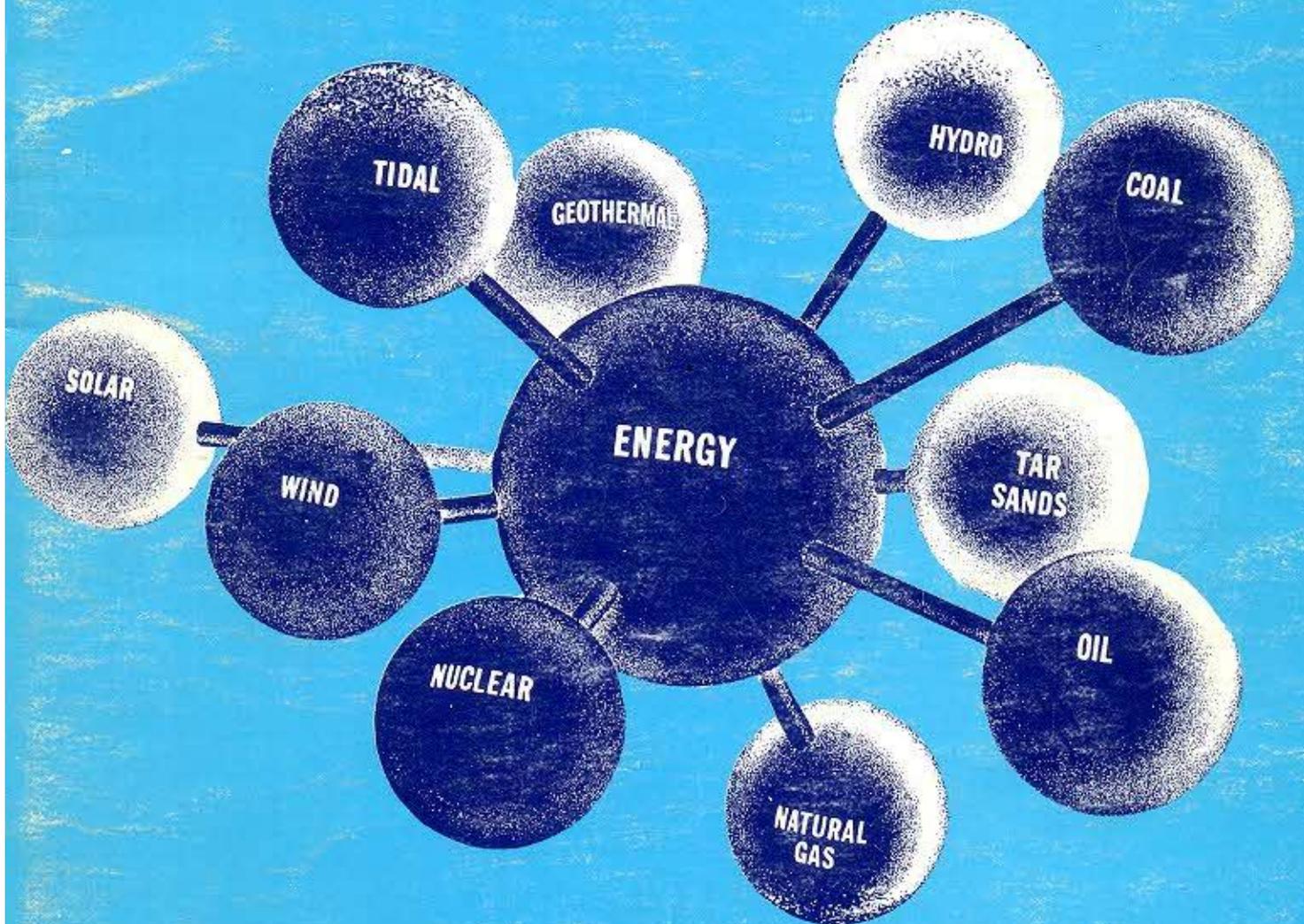


# ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA

SECRETARIA PERMANENTE

BOLETIN ENERGETICO No. 9

OCTUBRE/DICIEMBRE 1978



DEPARTAMENTO DE INFORMACION Y ESTADISTICA

BOLETIN  
ENERGETICO No. 9  
OCTUBRE/DICIEMBRE 1978  
ORGANO DE DIVULGACION  
TECNICA

SECRETARIA PERMANENTE  
*Gustavo Rodríguez Elizarrarás*  
Secretario Ejecutivo

DEPARTAMENTO DE INFORMACION  
Y ESTADISTICA

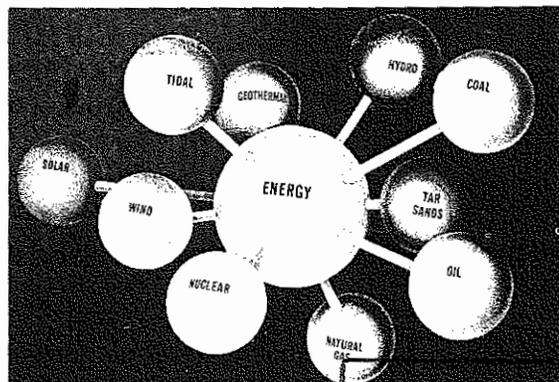
*Manuel Mejía Calderón*

Técnico de Información

*Maruja Bañados Contador*

Asistente de Información

# CONTENIDO



OLADE  
CENTRO DE DOCUMENTACION

VENEZUELA: Algunas Consideraciones sobre el Problema Energético, con Énfasis en la Nucleo-electricidad .....	3	54 ✓
<i>plus. diagrs</i>		
Técnicas de Prospección, Explotación, Beneficio y Producción de Combustibles Nucleares .....	19	55 ✓
<i>plus. diagrs</i>		
COLOMBIA: La Utilización de la Energía Solar .....	39	56 ✓
<i>plus. grafos</i>		
MEXICO: Aplicaciones a Baja Temperatura de la Energía Solar .....	49	57 ✓
<i>plus. diagrs, grafos</i>		
VENEZUELA: Energía Solar ...	63	58 ✓
<i>plus. diagrs grafos</i>		
Oferta y Demanda Petrolera Mundial a Mediano y Largo Plazo	75	59 ✓
<i>plus. tbls diagrs</i>		
DOCUMENTOS .....	93	
<i>Ecuador ley del Consejo Superior</i>	95	60 ✓
ANEXO: INFORMATIVO Secretaría Permanente	97	

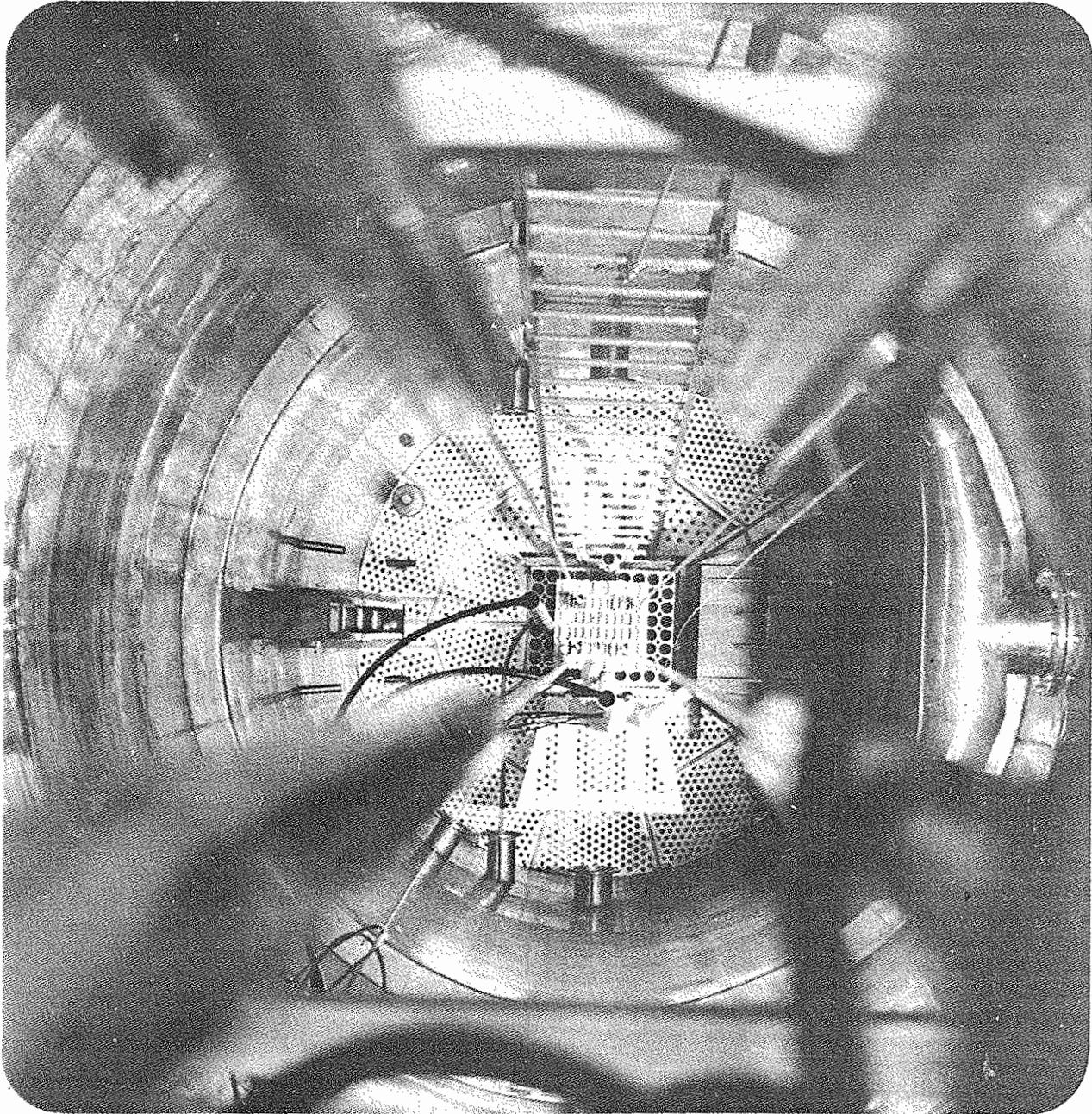
Los artículos firmados son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no expresan, necesariamente, la posición oficial de la Secretaría Permanente.

N. de la R. - Las colaboraciones debe dirigirse al Departamento de Información y Estadística de la OLADE:

CASILLA 119 - A  
QUITO - ECUADOR

# Venezuela

## Algunas Consideraciones sobre el Problema Energético, con Énfasis en la Nucleoelectricidad



Parece que la humanidad comienza a tomar conciencia acerca de lo limitados que son los recursos energéticos convencionales de los cuales hemos obtenido tantos beneficios hasta ahora. Esta idea nos conduce obligadamente a un mejor aprovechamiento de los recursos con que contamos actualmente y al estudio, desarrollo y utilización de formas alternas de producir energía, apoyándonos en otras fuentes hasta ahora no utilizadas o no muy bien conocidas.

Entre las nuevas formas de producir energía eléctrica, se encuentra la núcleo-electricidad, o sea, la producción de aquella utilizando la energía generada en la fisión del núcleo atómico. Un método ya lo suficientemente adelantado y que viene a convertirse en casi la única solución segura al problema energético mundial a gran escala y por muchos decenios. Mientras tanto, otros métodos nuevos o similares tratan de surgir y llegar a la madurez suficiente como para entrar en la competencia por satisfacer un mundo cada vez más hambriento de energía, en favor de un desarrollo mayor, supuestamente en beneficio de todos sus habitantes.

Dichas nuevas alternativas, ¿serán de algún valor para Venezuela? Un país pródigo en riquezas naturales aptas para su utilización en la producción de energía, ¿tendrá necesidad de recurrir a tan sofisticadas tecnologías para abastecer su demanda energética? O, de otro lado, en caso de no ser necesario recurrir a dichos nuevos métodos, ¿traerá esto consecuencias negativas para Venezuela? Por ejemplo - quedando rodeada de países que sí estén haciendo uso de ellos, digamos la núcleo-electricidad - ¿habrá el tiempo suficiente para una adecuada planificación en el campo energético, y para una preparación suficiente y oportuna del personal requerido?

En caso de no cumplirse lo que se desea en nuestro beneficio, ¿cuál será entonces nuestra respuesta a las generaciones venideras?

Todos estos interrogantes, y muchos más, son los que actualmente se plantean ante el inevitable avance del desarrollo y ante las medidas necesarias a tomar, con las consiguientes obligaciones y responsabilidades que el asunto conlleva.

Quienes algo tenemos que ver con el campo energético, en mi caso con relación a lo nuclear, nos sentimos en el deber de contribuir en algo al debate de gran actualidad sobre la utilización de un recurso más que la tecnología moderna nos brinda para satisfacer nuestras necesidades en el campo de la electricidad, motor ésta de casi toda actividad en una sociedad actualizada.

Este trabajo es parte de dicha contribución y es el fruto de lecturas esporádicas sobre el tema

#### SOME CONSIDERATIONS OF THE ENERGY PROBLEM IN VENEZUELA, WITH EMPHASIS ON NUCLEAR ELECTRICITY

In this study, the author offers us details of the demand and use of energy in Venezuela, and the "critical situation" in which the country finds itself at present with regard to its electrical needs.

In diagram form are shown: the estimated growth in demand for installation capacity in Venezuela, where two predictions, one made in 1972 and the other in 1975, are combined; a type scheme of consumption, production, use and wastage of the total energy produced in a industrialized country, and the most efficient form of energy use, utilising, among others, liquid and gaseous fuels.

The Venezuelan energy problem is seen critically from the standpoint of planning, use and energy demand in the country, and taking future prospects into account. Finally, emphasis is laid on the need to make use of nuclear electricity as "the only viable alternative in short and medium range to produce electricity at world levels", taking into account the limitations of hydro-electricity and the problems involved in the use of coal. The author adds that nuclear electricity has been the first to become conscious of the problems of contamination, as its introduction on a commercial scale has aroused great interest in the study of environmental problems caused by other means of energy production.

y no de un estudio concienzudo. Pretendo presentar algunas observaciones personales sobre la problemática energética en general y sus implicaciones en el caso venezolano, haciendo énfasis en la electricidad y el método nuclear para producirla.

De todas maneras, lo que me parece más importante en este momento, es una oportuna y eficaz decisión por parte de quien competa, en el sentido de dedicar los esfuerzos que sean necesarios para establecer los mecanismos adicionales que nos puedan conducir a una acertada solución a los problemas que se plantean con relación a la suplencia de la energía que se necesita para mover los engranajes de un país en pleno desarrollo, como lo es Venezuela. Lamentable sería ver pasar el tiempo sin una adecuada implementación en tan importante campo, para luego vernos abocados a tomar decisiones de urgencia que no siempre son las de mejor beneficio para el país, más cuando estamos hablando de empresas de gran envergadura y trascendencia, como son siempre las que tienen que ver con el campo energético.

Tratar de evitar que esto último ocurra, debe ser la meta de quienes nos sentimos obligados a dar nuestro aporte.

## 1. DEMANDA Y USOS DE LA ENERGÍA

En la demanda de la energía encontramos un punto clave de la cuestión por dos razones muy importantes: primero, porque la predicción de la demanda de energía es el punto de partida para cualquier plan energético y, segundo, por la gran dificultad en acertar en dichas predicciones con la suficiente antelación para poder poner en ejecución los planes que se prevean. Esta dificultad estriba en la complejidad que encierra el concepto de demanda.

Como ejemplo a primera mano del segundo punto, está la situación crítica que vive actualmente Venezuela con relación a la satisfacción de sus necesidades de electricidad: ¿Quién, a los comienzos de esta década, habría sido capaz de predecir correctamente el actual ritmo de crecimiento de la demanda de electricidad en el país, de 19 o/o interanual? (Ref. 1). ¿Quién hubiera podido predecir que los precios del petróleo se irían a triplicar a raíz de una reunión de los miembros de la OPEP, y que el consiguiente considerable aumento de la entrada de divisas al país iría a desembocar en el crecimiento industrial, sin paralelo tal vez, que estamos experimentando, con las repercusiones que ésto ha traído?

En muchos casos no queda otro camino que efectuar estudios de planificación paralelos suponiendo diferentes tasas de incremento inter-

anual de la demanda energética.

En la figura No 1 se presenta una gráfica de la estimación del crecimiento de la demanda de la capacidad a instalar para Venezuela, en donde se superponen una predicción hecha en 1972 y otra hecha en 1975. (Ref. 2) (sólo 3 años de diferencia). La diferencia que se observa corrobora lo antes dicho, a la vez que es indicativa del origen de la actual crisis eléctrica.

Ahora, en 1978, ¿Qué predicción haríamos?

Mi propósito no será exactamente dar una respuesta a esta pregunta, permitiéndome hacer las siguientes observaciones con relación a la electricidad, su demanda, los factores que la afectan y sus relaciones con otras formas de energía.

En la figura No 2 (tomada de la Ref. 3), se aprecia un esquema típico de la producción, consumo, aprovechamiento y desecho de la energía total de un país industrializado. No interesa para el caso, a qué país pertenece, ya que las particularidades a las cuales haré referencia, y no sus cifras, son más o menos comunes a todos los países.

En primera instancia, puede observarse la gran cantidad de energía que simplemente se pierde al hacer uso de los recursos con que contamos: ¡Aproximadamente un 50 o/o del total! Esta cifra puede fácilmente aumentar a un 75 o/o si se tuviese en cuenta el trabajo necesario para la extracción y el transporte de los combustibles, para la construcción de los sistemas de conversión y redes de distribución, así como en el manejo de los desperdicios y la protección del medio ambiente. Es una situación provocada por las inflexibles leyes de la naturaleza, las tecnologías actuales de transformación, los usos de la energía y los patrones de gustos y comodidades que se ha propuesto nuestra moderna sociedad.

¿Es posible modificar este cuadro? Claro que sí, ya que lo único que no puede modificarse a nuestro gusto, las leyes naturales, todavía nos permiten un amplio margen de mejoramiento. ¿Y cuándo comenzamos las modificaciones? Desde hace muchos años y todavía queda mucho por hacer; sin embargo, ésto es cuestión que puede tomar considerable tiempo para lograr resultados de alguna significancia, tal vez generaciones enteras, más cuando las tendencias actuales parecen ser contrarias a dicho cambio deseado.

El que comenzamos hace mucho a mejorar la eficiencia en el uso de la energía, se puede apreciar simplemente al comparar el uso actual

de varias fuentes de energía con el primitivo uso de la leña y el carbón. También, en la figura N° 3 (Ref. 4) se aprecia, por ejemplo, cómo desde hace algunos siglos se viene aumentando progresivamente la eficiencia de los motores primarios. Sin embargo, si miramos más detenidamente esta gráfica, encontramos algo muy interesante: podremos notar la presencia de una característica muy generalizada en casi todo proceso de transición de un límite bajo a un límite elevado en un medio ambiente limitado (observación hecha por W. Háfele, en Ref. 4).

Traspasando estos datos a una gráfica normalizada en escalas lineales, se obtiene una curva en forma de S, como se muestra en la figura N° 4. Esta curva obedece a una constante de tiempo (k), indicándonos que transcurre mucho tiempo para salir de los niveles bajos y, así mismo, para lograr los niveles más altos, con una etapa de rápida transición. Aunque aún quedan procesos en esta etapa rápida, ya existen muchos campos donde cada vez se dificulta más lograr rendimientos mayores. Esto depende del avance de la ciencia y la tecnología, para acercarnos cada vez más a los límites dados por la naturaleza. Será un proceso que tomará su tiempo, aunque a veces se producen saltos con el descubrimiento de fenómenos o procesos totalmente novedosos y que logran producir una revolución en la tecnología, por ejemplo, los semiconductores en la electrónica. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estos descubrimientos no son fruto del azar sino de un esfuerzo continuo y tenaz en el campo de la investigación, como el que realizan actualmente los países desarrollados en cientos de laboratorios. En conclusión, aunque se seguirán produciendo mejoras en la eficiencia de conversión y utilización de la energía, ésto no permitirá una disminución apreciable a corto plazo en el ritmo de aumento de su consumo.

De otro lado, existen fuertes tendencias a una utilización menos eficiente de la energía, principalmente en su conversión con miras a hacerla más útil o más cómoda. En la figura N° 5 (Ref. 4), se presenta un esquema simplificado del flujo de la energía y de los servicios que de ella obtenemos, con la anotación de las pérdidas en cada fase. La energía tal como la provee la naturaleza es poco útil para su aprovechamiento, siendo necesaria su conversión y transporte en mayor o menor escala, según la fuente y el uso a que se destine.

La forma más eficiente de uso de la energía es la utilización de combustibles líquidos y gaseosos (véase fig. No 2 y fig. N° 6), lo cual necesariamente conlleva la conversión de energía primaria a secundaria. Esto ha generado la adopción de métodos en nuestra sociedad, los

cuales facilitan el uso de la energía en dicha forma, más cuando se ha contado con su provisión abundante y barata. Ha sido tal la situación que incluso se ha llegado a fuertes aberraciones, si así puede llamarse, como es el caso de los automoviles, los cuales cada vez están siendo menos eficientes, (Fig. N° 7), con ligeros cambios en sentido contrario en la actualidad.

A pesar de lo práctica y útil que es la electricidad, ésto sólo cuenta con un máximo de 20 a 35 % de la energía útil por la razón antes expuesta. Sin embargo este porcentaje tiende a aumentar, para adoptar medios más prácticos de utilización de la energía. En Venezuela, la contribución de la electricidad es actualmente de alrededor del 28 % y hacia finales de siglo se espera que se coloque por encima del 40 % (Ref. 5). Se cree que esta tendencia siga predominando, lo cual representa más pasos de conversión y, por tanto, menor eficiencia en la utilización de la energía. El problema se agravará al escasear los combustibles corrientes y tener que recurrir cada vez más a la energía proveniente de la fuente nuclear y solar. Las figuras Nos. 8 y 9 nos señalan la situación planteada para el caso de la RFA (Ref. 4). Incluso, por la actual costumbre de aceptación de los combustibles líquidos y gaseosos, los combustibles sólidos, como el carbón, deberán ser licuados y gasificados para su uso, lo cual conllevará menor eficiencia del uso de la energía. Nuestras ciudades actuales, adaptadas a medios individuales de transporte y no masivas, tendrán que recurrir a los automóviles eléctricos, al menos mientras no se cambien nuestros patrones actuales, lo cual, como es de suponer, tomará también su debido tiempo.

El uso final de la energía se hace en millones de aparatos: automóviles, cocinas, lámparas, electrodomésticos, etc., en los cuales se ha pensado más en su relativa utilidad que en hacerlos eficientes, tendencia dictada por patrones de consumismo en un medio de combustibles baratos. Aunque en la actualidad podemos seguir contando con estos combustibles todavía baratos con relación a lo que nos espera, la llamada "crisis energética" nos ha hecho reflexionar un poco sobre dicho consumismo y se presentan intenciones de cambio de patrones tendientes a un uso más racional de la energía. Pero siendo tan amplio el campo de utilización de la energía secundaria, los cambios necesarios y efectivos se dejarán sentir muy lentamente, por lo que su influencia a corto y mediano plazo será de poca importancia. Sin embargo, será un proceso indispensable para reducir la demanda energética a largo plazo. Y es a nosotros a quienes nos corresponde comenzar este proceso desde ya en beneficio de

las generaciones venideras.

El otro aspecto a tener en cuenta en la demanda de energía es el crecimiento demográfico. Este por sí sólo no significa necesariamente mayor consumo energético, sino que debe ir acompañado del desarrollo de la infraestructura económica. Como es el caso con mayor o menor intensidad, el incremento poblacional dará lugar a una mayor demanda de energía, con fuertes repercusiones a mediano y largo plazo.

Sobre la relación demanda energética - crecimiento económico no ocuparé mucho espacio, ya que ésta es la parte de más amplio conocimiento entre los planificadores de la energía. En forma somera, en la figura N° 10 (Ref. 6), se indica la relación entre el consumo de energía per cápita y el PNB per cápita para varias naciones. Aunque los cambios (lentos) de infraestructura ya mencionados podrán hacer doblar esta curva hacia la horizontalidad y aunque sucesos locales pueden producir fuertes variaciones en esta relación, de todas maneras la tendencia general que se observa es un crecimiento acelerado de la demanda, la cual perdurará por algunos decenios más. Me pregunto: ¿acaso Venezuela podrá ser una excepción a esta tendencia?

## 2. PROBLEMATICA ENERGETICA VENEZOLANA

Aunque ya he mencionado algunas cifras para Venezuela, quiero agregar algo más específico sobre la planificación, uso y demanda de energía en el país.

Los factores aludidos que afectan la demanda de energía, cuales son: incremento de la población, patrones de utilización y consumo de la energía y crecimiento económico, ¿Cómo se vislumbra en Venezuela? ¿Qué predicciones nos permiten hacer?

Las perspectivas son desfavorables desde varios puntos de vista:

Primero, y tal vez lo más importante, somos un país en pleno desarrollo industrial y esto es grave desde el punto de vista energético. Aunque en un país desarrollado se adelanten planes de expansión, éste ya posee toda una infraestructura industrial completa, en donde lo más que puede hacer es modernizar sus instalaciones, lo cual conlleva mejor utilización de los recursos energéticos, más cuando en la actualidad se está viendo urgido a ahorrar energía. En cambio, nosotros apenas comenzamos a montar dicha infraestructura y no siempre utilizando los equipos más modernos y económi-

cos desde el punto de vista energético. El resultado de esto lo estamos viviendo en estos momentos.

Otro factor adverso para el campo energético, es la implantación en nuestro medio de ciertos patrones extranjeros que han estado regidos por el despilfarro de la energía barata. Se impone ahora la necesidad de cambiar estas tendencias, lo cual será un proceso lento, mucho más aquí que en otros países donde se puede contar con una mejor disciplina de parte de los consumidores. Como ejemplo, tenemos el asfixiante problema del transporte automotor en el país.

La falta de una planificación energética adecuada a escala nacional (esto no es un descubrimiento nuevo, pues se deduce de lo dicho en varias ocasiones por el Señor Presidente de la República y lo he leído de otras fuentes, como el CONICIT, Ref. 7) y la ausencia de una interconexión total nacional, ocasionan situaciones de emergencia y obligan a adoptar soluciones rápidas, las cuales no siempre son las más adecuadas para satisfacer la demanda.

Bajo estas circunstancias desventajosas, proyectos que requieren una planificación a largo plazo, como por ejemplo, los hidroeléctricos, no podrán realizarse oportunamente. A esta situación estaremos abocados irremediablemente si no se produce un cambio importante a favor de una mejor y mayor planificación, esto sólo teniendo en cuenta el hecho de que la hidro-electricidad será el recurso energético más importante en Venezuela en lo que resta de este siglo. Es oportuno tener en cuenta que la nucleoelectricidad es mucho más exigente en este sentido.

¿Cómo es que estamos contando con tan alto porcentaje de hidroelectricidad si todavía en 1976, según Tellerías (Ref. 8), no existía una evaluación de su potencial?

Como ejemplo de la situación planteada, tenemos lo que está ocurriendo actualmente con la implementación termoeléctrica en ejecución en la región norte-central del país: Me permito hacer referencia textual al sentir de A. Martínez en su libro: "Una Política Energética" (Ref. 9), que dice textualmente:

"La construcción de una enorme planta termoeléctrica en la región central sería un error muy grave.

La planta que se proyecta, a construir a partir del año 1974, representaría el más absurdo desperdicio de los recursos energéticos del país. En efecto, se trata de una planta que utilizaría gas natural o combusti-

ble derivado del petróleo, con lo cual se causaría la enajenación de recursos de hidrocarburos escasos, cada vez más valiosos, en una instalación que lo consumiría en grandes volúmenes durante muchas décadas . . ."

Me encuentro plenamente identificado con este sentir; es una situación presentada no por falta de recurso alternos al petróleo, sino por una inadecuada planificación para saber aprovechar la inmensa riqueza hidroeléctrica. ¿Se tendrá que seguir repitiendo la misma historia? ¿Y ésto a costa del petróleo?

En el problema planteado habrá influido también el inusitado crecimiento de la actual demanda energética, aunque las mayores cifras de dicho crecimiento se han registrado después de haberse tomado la decisión de construir dichas plantas.

Ahora, haciendo una referencia más directa a la demanda de electricidad en Venezuela, quiero añadir otra observación que me parece de gran relevancia: En varios estudios de importancia, por ejemplo, el recientemente hecho por CONAN-CADAFE (Ref. 10) para tratar de determinar una fecha probable de necesidad de la nucleoelectricidad para Venezuela, se han supuesto tasas de crecimiento interanual de la demanda de electricidad entre 7 y 8 0/0 para 1980 en adelante, cuando actualmente esta tasa es de más del 19 0/0 y, más aún, históricamente la demanda ha tenido tasas por encima de dichas cifras.

La situación planteada es algo así como se muestra en la fig. N° 11.

Aunque dicha predicción tan baja seguramente proviene de estudios serios, ¿cómo es posible que ésto suceda? ¿Esta rara disminución de la tasa de crecimiento no va en contraposición a los planes de desarrollo industrial y general que se estarán ejecutando próximamente en el país? Si no se cree así, entonces ¿qué está produciendo la actual tasa de crecimiento? Si se considera como un período transitorio, entonces ¿Qué tan transitorio será? ¿Perjudicará sólo hasta 1980? . . . ! ¿Tan sólo 1 1/2 años más?!

Si en la actualidad existen programas tendientes a reducir el actual acelerado ritmo de crecimiento —programas no muy difundidos hasta ahora— debe recordarse la lentitud de respuesta a este tipo de esfuerzo, según expresé ya en la sección generalizada (N° 1) de este trabajo.

En cuanto a esta parte del problema energético venezolano, me siento completamente del lado

del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Simón Bolívar, el cual, en su estudio de prefactibilidad de la nucleoelectricidad, realizado en 1975 (Ref. 11), manifiesta su preocupación por tasas tan conservadoras de crecimiento de la demanda de electricidad previstas, planteando incluso el posible adelantamiento que puede necesitarse en la complementación térmica, lo cual, de cumplirse ya sería demasiado tarde para pensar en la alternativa nucleoelectrónica.

### 3. ALTERNATIVAS ENERGETICAS Y CONCLUSIONES

No necesitaré recalcar la importancia de los hidrocarburos en el mundo actual ni la necesidad de su conservación, pues es algo ya ampliamente reconocido en todos los niveles. Lo mismo puede decirse de lo finito de su fuente y de su rápido agotamiento de seguir las actuales tendencias.

Es cierto que contamos con la Faja Petrolífera del Orinoco, pero no como un recurso inmediato, dadas las características especiales de los crudos que contiene y los incipientes o casi nulos adelantos investigativos para su explotación dentro de una industria nacionalizada. Más aún, con relación a esta Faja, se presenta algo muy peculiar desde el punto de vista energético, cual es la ingente cantidad de energía que será necesaria para su explotación, más cuando en la actualidad se cree que uno de los métodos de mayores perspectivas para la extracción del petróleo de esa zona será la inyección de vapor de agua.

Se ha manifestado en el país un creciente interés en las diferentes alternativas para producir energía eléctrica, lo cual me parece un gran paso de avanzada. Sin embargo, a veces me da la impresión de que se está hablando de ellas como se si tratase de alternativas, no a los modos convencionales, sino más bien como alternativa a la tecnología nuclear. Podría estarse gestando en el país algo que debemos evitar a toda costa, cual sería un cierto temor hacia la energía nuclear, y parece que no es sólo por el aspecto de seguridad, sino también, y parece más importante aún, por tratarse de una tecnología muy nueva, complicada y, por tanto y además, poco conocida. De estas mismas características también se deriva la muy temida y comentada dependencia tecnológica.

Es muy importante que se estudien exhaustivamente las posibilidades de aplicación de todas las alternativas energéticas, lo cual seguramente redundará en beneficio del país y precisamente será la forma de evitar una mayor dependencia de cualquier tipo en el futuro no muy lejano.

Pero esto que no se esté haciendo para dejar una alternativa tan importante como es la nuclear. Actualmente ya casi ni amerita discutir en relación a que ésta es la única alternativa viable a corto y mediano plazo para la producción de electricidad a nivel mundial, teniendo en cuenta la limitación de la hidroelectricidad y los problemas con el carbón. Habrá que estudiar con más detenimiento si se cumple lo mismo a nivel regional.

Al acometer el estudio de las otras fuentes energéticas no convencionales diferentes a la nuclear, que se haga en base a dos premisas que pueden concurrir simultáneamente: primero, como solución casi inmediata a problemas locales y pequeños abastecimientos de energía, sin creer que esto vaya a contribuir significativamente a la necesidad energética actual y próxima futura; segundo, como grandes soluciones al problema energético pero a muy largo plazo.

No tener muy clara esta situación, representará simplemente una distracción y una pérdida de importantes recursos que habrían podido ser más útiles en otra cosa. Se debe dar gran preponderancia a los estudios tendientes al uso relativamente próximo de la energía nuclear, pues según yo estoy convencido, es una tecnología a la que difícilmente podremos escapar, a no ser que nos enfrasquemos en una terquedad o no seamos nunca capaces de planificar bien las soluciones que el sector energético requiera. En caso de que esto ocurriera, las generaciones venideras sufrirán las consecuencias y entonces sabrán juzgarnos por nuestra actitud. No podemos simplemente meter la cabeza en la arena.

Incluso una alternativa corriente como es la hidroelectricidad, para ser usada a tan grande escala como la proyectada, hasta un 80 o/o del total de energía eléctrica producida en el decenio de los noventa, amerita estudios cuidadosos. Por ejemplo, se pueden presentar sequías muy prolongadas. También, el concentrar en sólo dos zonas geográficas relativamente cercanas la una a la otra, el Caroní y el Caura, casi igualmente distanciados del centro de la carga, el 70 o/o (Ref. 9) de la capacidad generada total del país para 1994, es algo a veces preocupante desde el punto de vista estratégico. Quedaremos dependiendo de una especie de cordón umbilical. ¿Y los efectos ecológicos de tan grandes represas? Pueden ser de gran consideración (Ref. 7).

Entre las alternativas energéticas no convencionales que hoy en día se estudian, hay varias muy atractivas desde diferentes puntos de vista, pero que todavía constituyen un reto tecnológico para su uso a una gran escala. Y desarrollar

una nueva tecnología requiere considerable tiempo, a la vez que cada forma de producir energía tiene sus problemas, algunos más graves que otros.

Con seguridad, la humanidad sabrá afrontar el nuevo reto que se le presenta, como ya lo ha hecho en otras oportunidades. Ahora el problema se manifiesta diferente y de magnitud considerable; sin embargo, también es cierto que el hombre cuenta hoy en día con muchos más recursos técnicos y conocimientos de mucho mayor alcance.

Hay problemas aún desconocidos; por ejemplo, puede que el problema del mañana no esté precisamente en las fuentes de energía, sino en su transporte y utilización apropiada (Ref. 12). Se habla de problemas ambientales cuando muchos de sus efectos son todavía desconocidos. Sobre esto apenas ahora se comienza a preocupar la humanidad, cuando ya la densidad de producción y utilización de la energía es de una magnitud tal que comienza a producir efectos notablemente dañinos.

Teniendo en cuenta lo anterior y, probablemente, muchas otras cosas más, es que hoy en día la alternativa de la fisión nuclear es considerada en el mundo como la única que puede solucionar el gran problema energético a corto y mediano plazo. Es una alternativa que ya ha superado muchos de los problemas arriba mencionados, aunque todavía quedan otros por resolver, además de su competitividad económica. Además la nucleoelectricidad ha sido la pionera en cuanto a problemas de contaminación, pues su introducción comercial ha despertado gran interés y preocupación en este sentido, haciendo que se estudien las dificultades ambientales de otros medios de producción de energía, encontrándose en muchos de los casos y, con gran sorpresa, resultados a favor de la energía nuclear. En cuanto a seguridad industrial, ha alcanzado un nivel tan sofisticado y autoexigente que la coloca muy por encima de otras actividades corrientes comúnmente aceptadas hasta ahora.

La actual situación de retraso en el desarrollo de las diferentes alternativas, ha sido debido a que se disponía de un recurso abundante, fácil de aprovechar y ampliamente subestimado, como era el petróleo. Aunque todavía en parte sigue siendo igual, el mundo ha contraído una deuda grande con los amigos árabes por haber producido su famoso embargo petrolero, el cual ha servido de un primer y oportuno "campanazo" sobre una situación catastrófica que antes apenas si se vislumbraba, cual hubiera sido el agotamiento rápido de uno de los prodigios de la naturaleza sin haber contado oportunamente

con los sustitutos apropiados.

El petróleo es algo muy precioso, y lo será mucho más en futuro próximo, debido a sus cualidades y beneficios. No se justifica quemarlo simplemente, más cuando de todas maneras es un recurso finito que tarde o temprano se agotará. La rapidez con que nos deshacemos de él, es millones de veces mayor a la rapidez con la cual la naturaleza puede generarlo. Es por esto que me ha parecido muy oportuno y de una gran filosofía uno de los avisos de campaña de conservación que ha sacado últimamente Petróleos de Venezuela: "Un millón de años en dos semanas".

Ahora bien, existe otro interrogante muy interesante y el cual habrá sido causante de muchas polémicas en varias oportunidades, hoy más que nunca de gran actualidad, cual es: ¿por qué en lugar de exportar petróleo, no lo utilizamos acá para nuestras necesidades primordiales, entre ellas la producción de energía?

Esto en parte está ocurriendo actualmente al mantener los precios internos muy bajos con relación al mercado internacional; lo cual, además, está afectando seriamente los estudios de planificación eléctrica.

Al producirse una cuadruplicación de los precios del crudo, ¿por qué no haber producido una reducción más importante en la cantidad de petróleo de exportación para así extender mucho más la existencia en tal vital recurso? ¿Por qué tenemos que satisfacer las necesidades de ciertos países mientras éstos continúan guardando sus propias reservas para un futuro, para cuando ya a nosotros no nos queden ni para nuestras propias necesidades? . . . De otro lado, suponiendo que no exportemos más, ¿será justo vernos rodeados de países hambrientos de petróleo mientras nosotros mantenemos guardado una parte y quemamos alegremente el resto, pero aún cuando podemos dejar de quemarlo usando otras fuentes más económicas como la nuclear?

Se puede deducir fácilmente que las cuestiones relacionadas con la política petrolera y energética son bastante complejas y de largo alcance, cayendo incluso a veces en aparentes contradicciones, como la anotada por R. Corrie (Ref. 13) en una publicación del CONICIT, que dice textualmente:

" . . . la energía eléctrica es generada en Guayana por fuente hidroeléctrica a un bajo costo de producción y exportación a un precio casi igual al costo, en forma de barras de aluminio. En cambio tenemos programado construir plantas termoeléctricas

que consumirán combustibles líquidos pesados que pudiesen ser exportados a precios del mercado internacional; es decir, que nuestra materia prima está compitiendo una con otra".

Por último, permítanme otra observación más: Supongamos que todavía no existe el convencimiento en el país de la necesidad de las plantas nucleares a un corto o mediano plazo; pero sí existe la seguridad de que, una vez agotados los recursos hidráulicos, tenemos que volver a la termoelectricidad, y las únicas alternativas viables a gran escala que por ahora se ven, como ya lo mencioné, son la nucleoelectricidad y el carbón. Ahora . . . , si observamos cuidadosamente los estudios de pre-factibilidad de la energía nuclear hasta ahora presentados, podemos leer, sin importar la fecha: un reactor en tal año, otro al siguiente, dos en el próximo, etc . . . etc . . . Algo así, también, con seguridad se establecería si se hiciera un estudio similar sobre plantas solares, por mencionar otro. Yo pregunto: ¿llegaremos a tener la capacidad suficiente para atender tan impetuosa y sorpresiva demanda de sistemas nuevos para producir energía? ¿Por qué tenemos que esperar hasta el último momento para luego tener que enfrascarnos en tarea tan titánica como se ha planteado? Claro está que en esta forma la dependencia tecnológica tendrá que ser superfuerte, pues tendremos que traer todo en una gran urgencia. ¿Por qué, entonces, no nos adelantamos algo y ejecutamos un programa más gradual y por tanto con mejores bases nacionalistas, comenzando un poco antes de que se presente tal urgencia? ¿No será esto más conveniente y menos dependiente?

He aquí un amplio campo de acción para quienes tienen que tomar las decisiones en favor de un desarrollo más justo y equilibrado en beneficio del país, y también para aquellos quienes desde un punto de vista netamente científico, tenemos la obligación de indicar oportunamente el camino acertado para que puedan cumplirse satisfactoriamente las metas previstas para lograrlo.

## REFERENCIAS

1. Plan Nacional de Energía Eléctrica (COPLAN-EL) para el V Plan de la Nación (1976-1980), publicado en 1975.
2. Solórzano, C., et al., "Expansión de la Generación de Electricidad de Caracas en los años 1978-1979". C. A. La Electricidad de Caracas, 1976.
3. Scientific American, Vol. 224, No 3, Septiembre 1971.
4. Hafele, Wolf, "La Demanda de Energía", Boletín OIEA, Vol 19, No 8, Vienna, 1977.
5. Tellería, V. R., et. al., "Política Energética

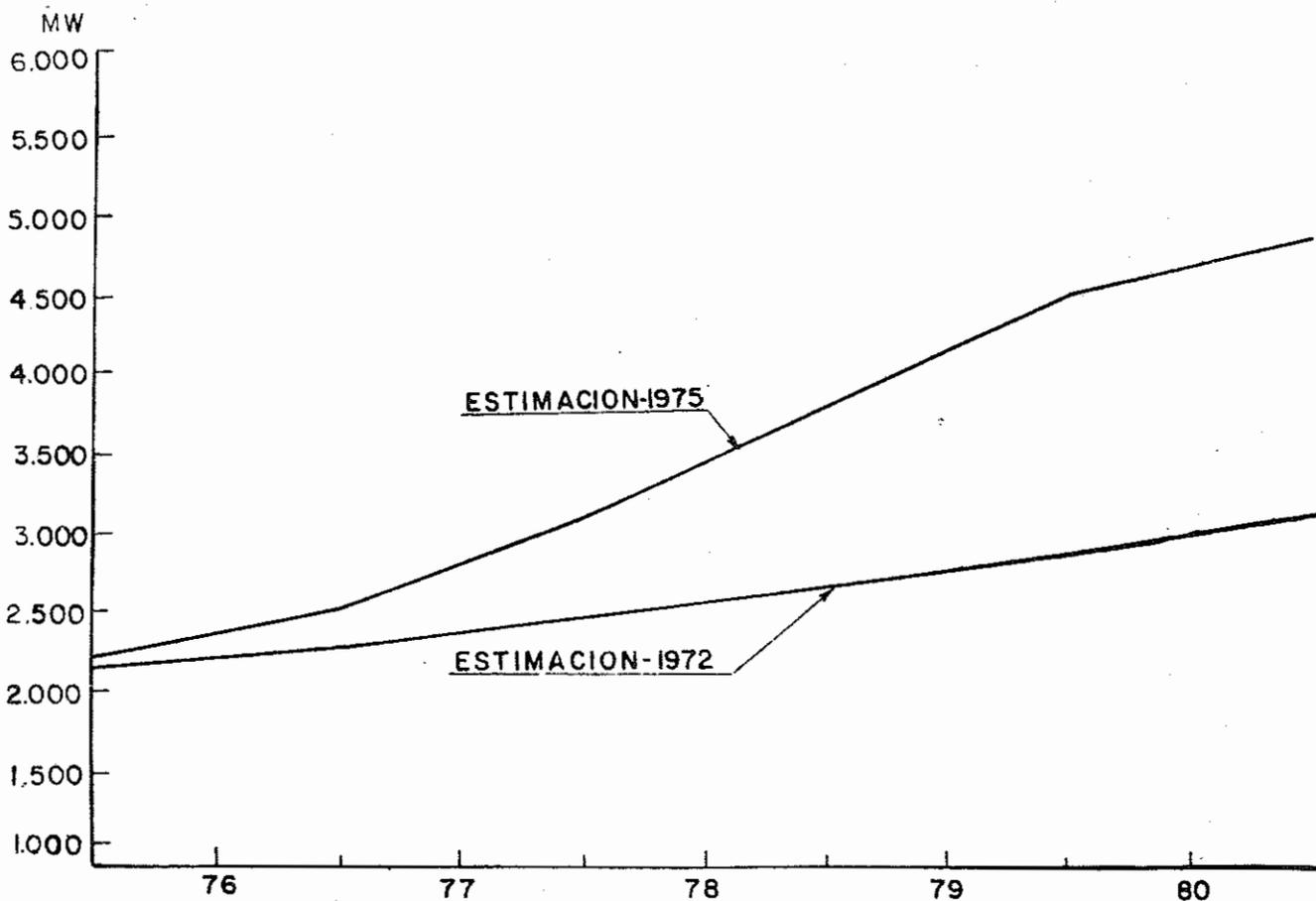
Integral", trabajo presentado en el III Congreso Venezolano del Petróleo, Caracas, Junio 1974.

6. Market Survey for Nuclear Power in Developing Countries, General Report, OIEA, Vienna, 1973.
7. Fuentes Energéticas: Una Perspectiva Venezolana, publicación del CONICIT, 1977.
8. Tellerías, V. R., "Situación Actual y Perspectivas de la Hidroelectricidad en Venezuela", Trabajo presentado en el Seminario sobre la Energía, Maracaibo, Agosto de 1976.
9. Martínez, A. R., "Una Política Energética",

Caracas, 1974.

10. "Estudio de Planificación Nucleo-eléctrica para Venezuela", CADAFE-CONAN, Caracas, 1977.
11. "Estudio de Prefactibilidad de la Nucleo-electricidad", Instituto de Energía Eléctrica, U. S. B., Caracas, 1975.
12. Hafele, W., "Los Sistemas Energéticos", Boletín del OIEA, Vol. 16, Nº 1/2, Vienna, 1974.
13. Corrie, R., "El Petróleo como Fuente Energética", trabajo presentado en el Seminario sobre la Energía, Maracaibo, Agosto de 1976.

**FIGURA Nº 1**  
**DEMANDA DEL SISTEMA INTERCONECTADO VENEZOLANO**  
**ESTIMADA EN 1972-1975**



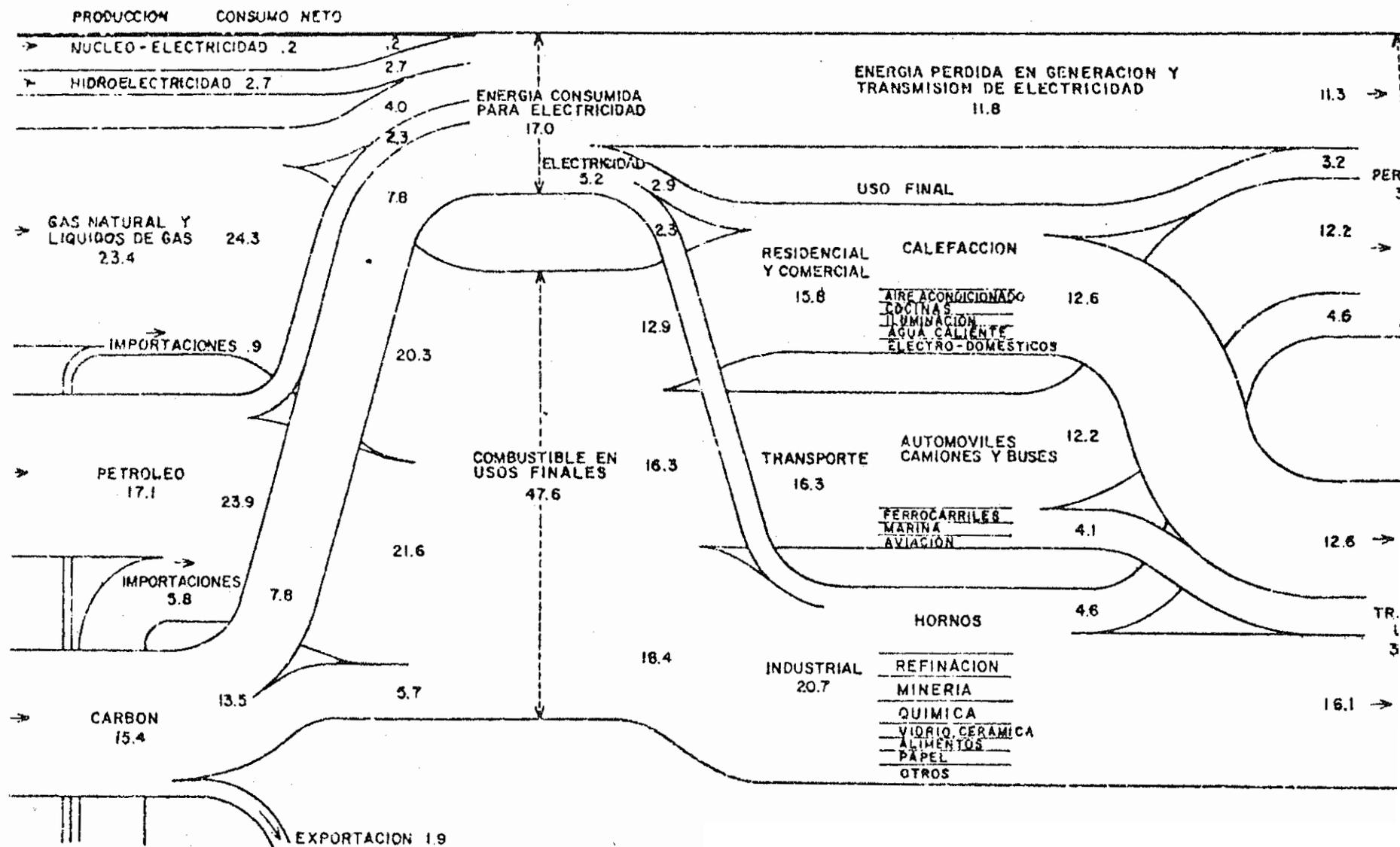


Fig. 2. — Flujo de energía en los EE.UU. en 1970 (Ref. 2)

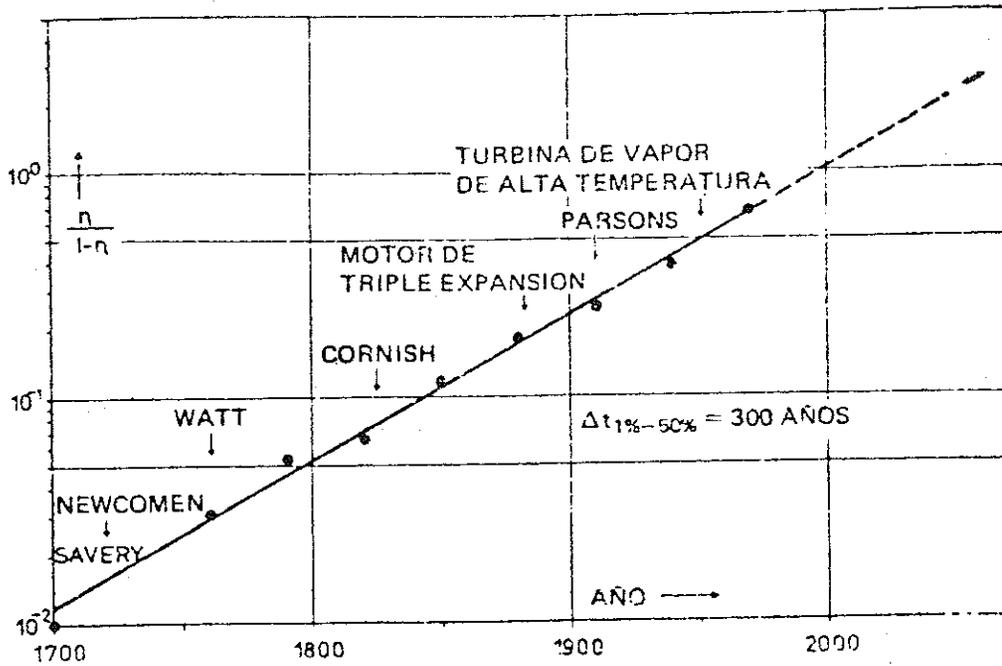


Figura No. 3: LA EFICIENCIA DE LOS MOTORES PRIMARIOS MUESTRA UNA TENDENCIA ASCENDENTE CONSTANTE

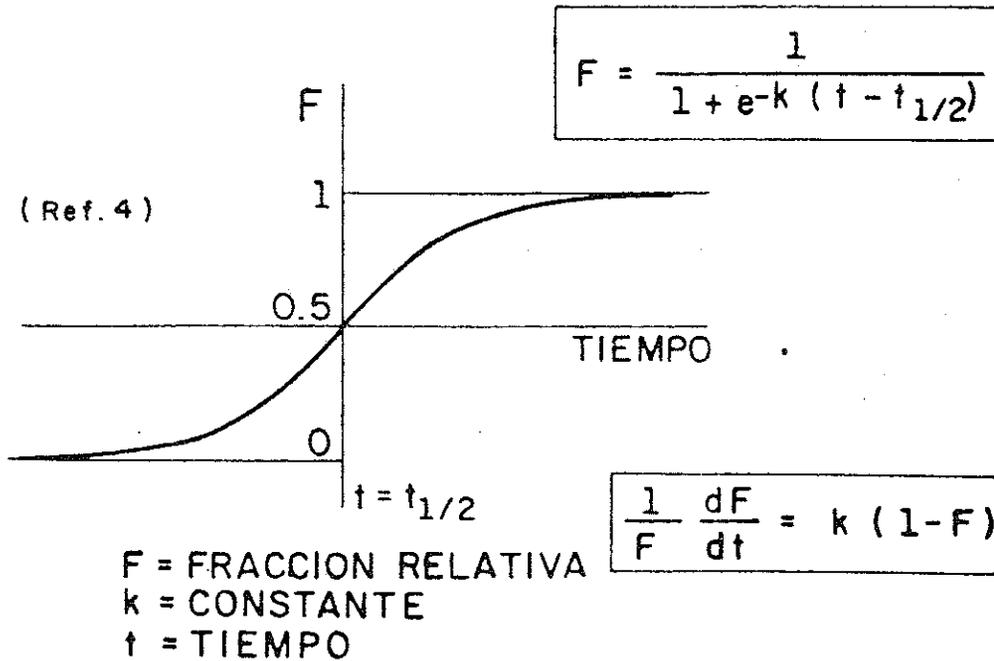
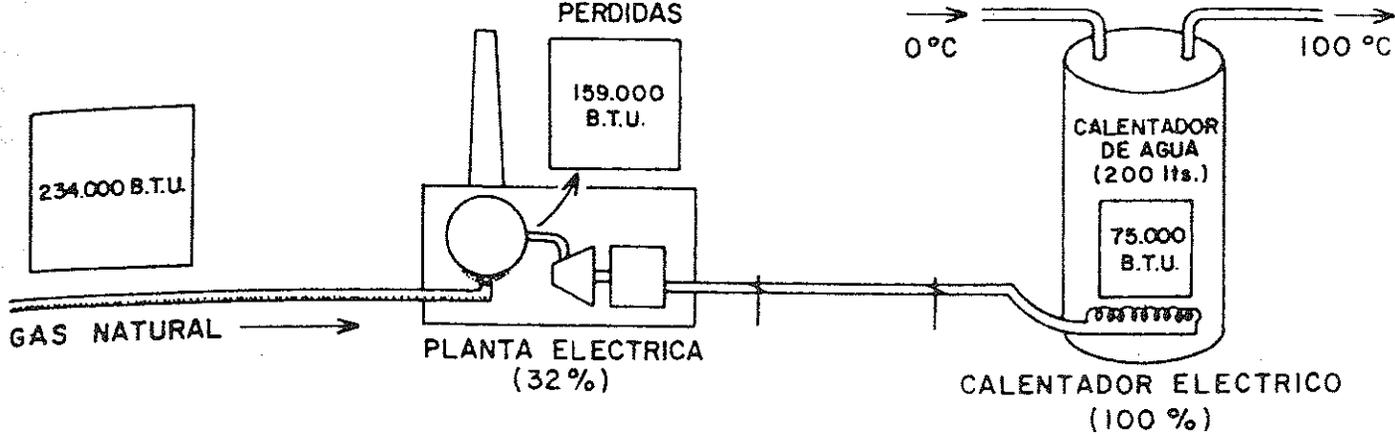


Fig. 4.— Curva logística para transición de un límite Interior (F = 0) a un límite superior (F = 1).



(Ref. 2)

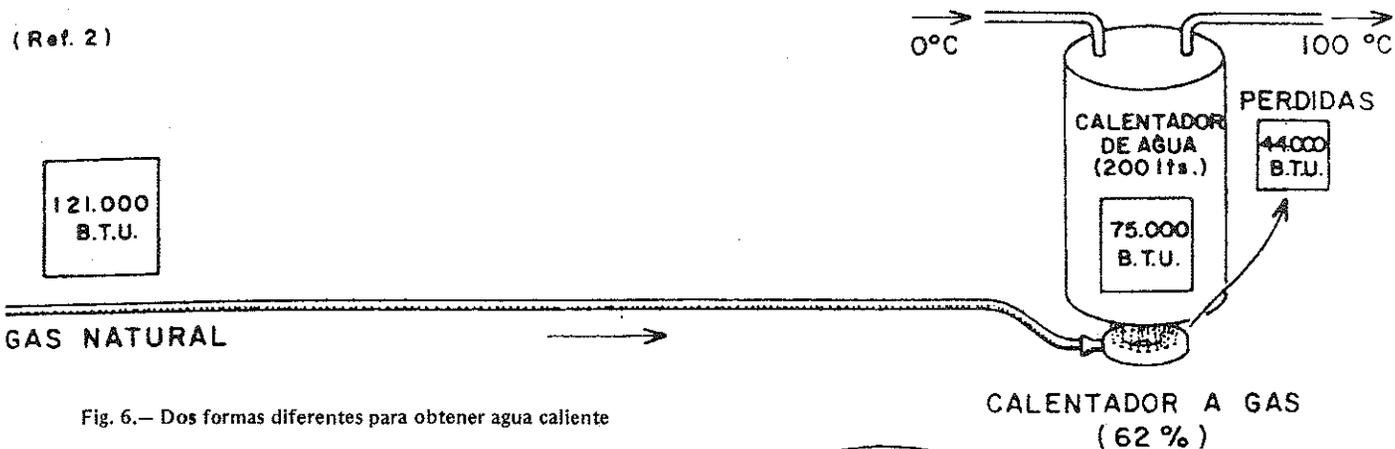


Fig. 6.— Dos formas diferentes para obtener agua caliente

Fig. 5.— Esquema simplificado del Flujo de la energía y de los servicios por ella prestados.

(Ref. 4)

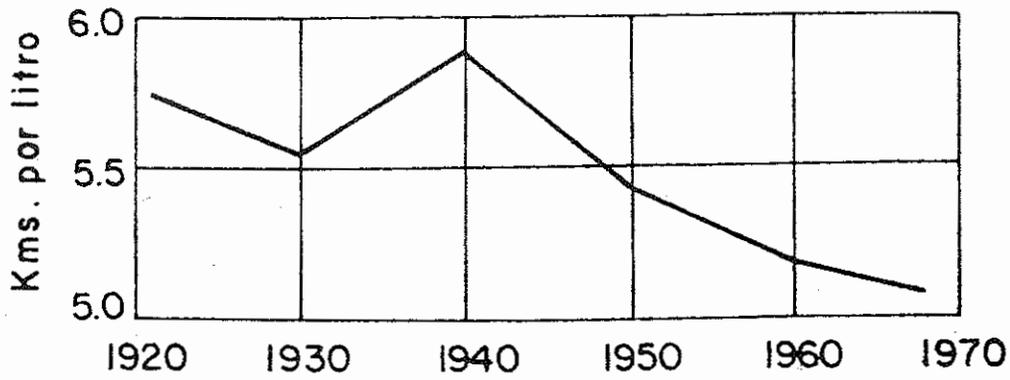


Fig. 7.— Eficiencia en el empleo de automóviles.

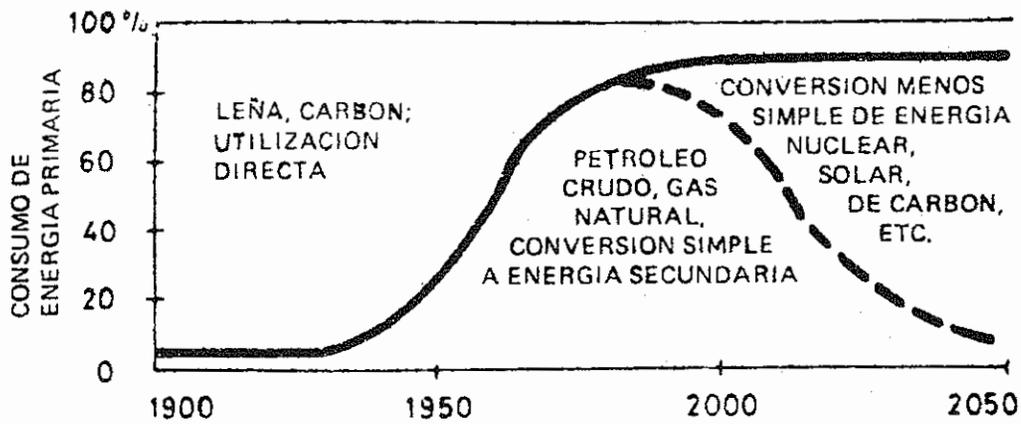


Fig. No. 8.— TENDENCIA FUTURA A MAYOR USO DE ENERGIA SECUNDARIA EN LA RFA (fef. 4)

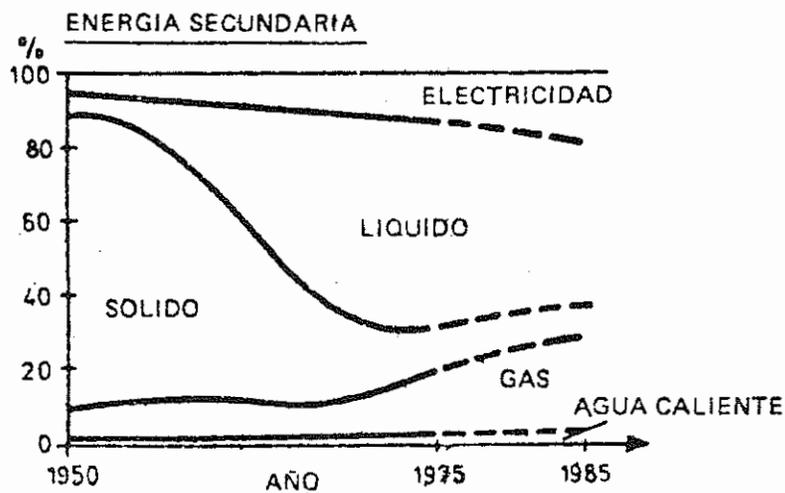


Fig. No. 9.— DISTRIBUCION DE LA ENERGIA SECUNDARIA EN LA RFA (Fef. 4)

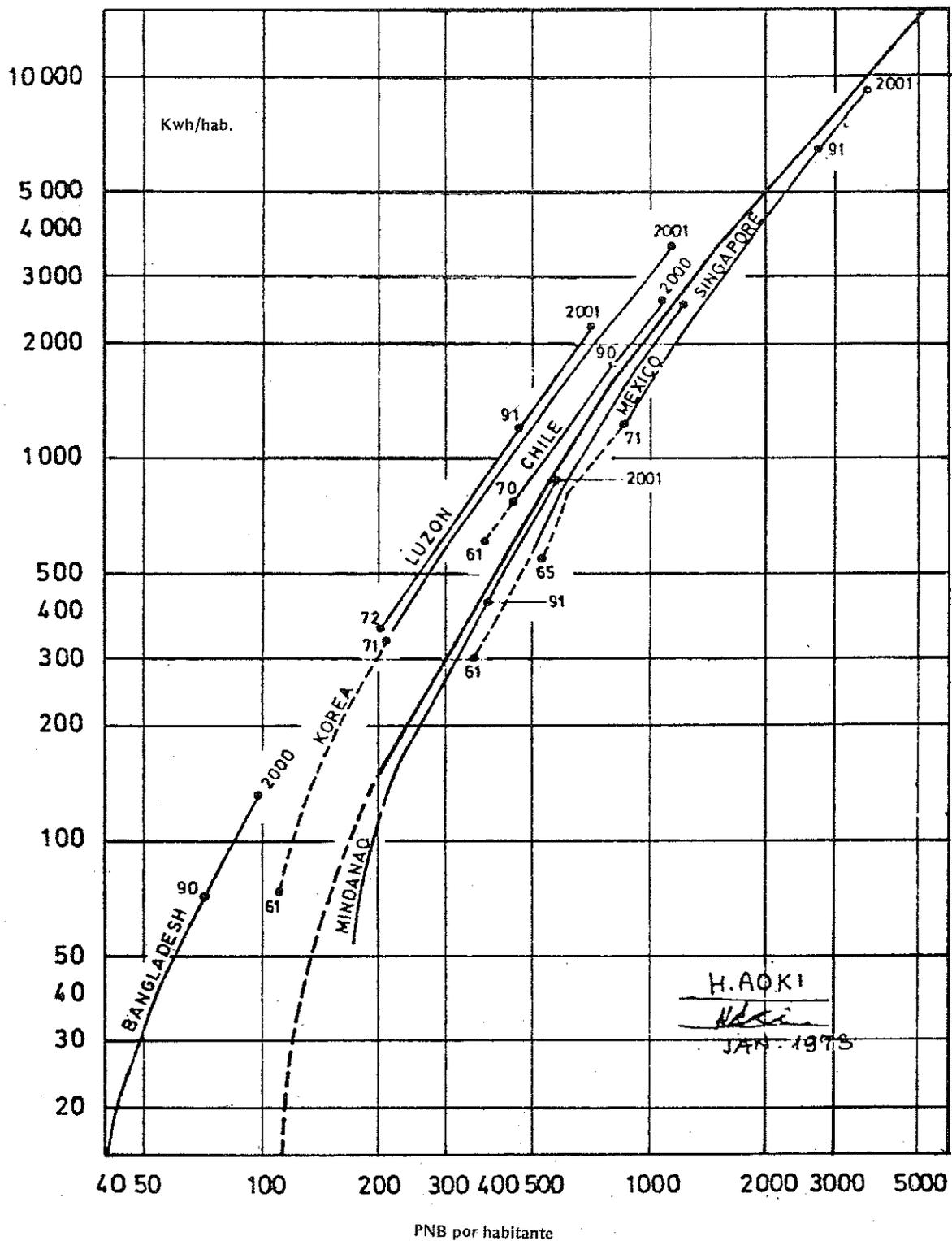


Figura No. 10: RELACION ENTRE PNB/HABITANTE Y Kwh/HABITANTE

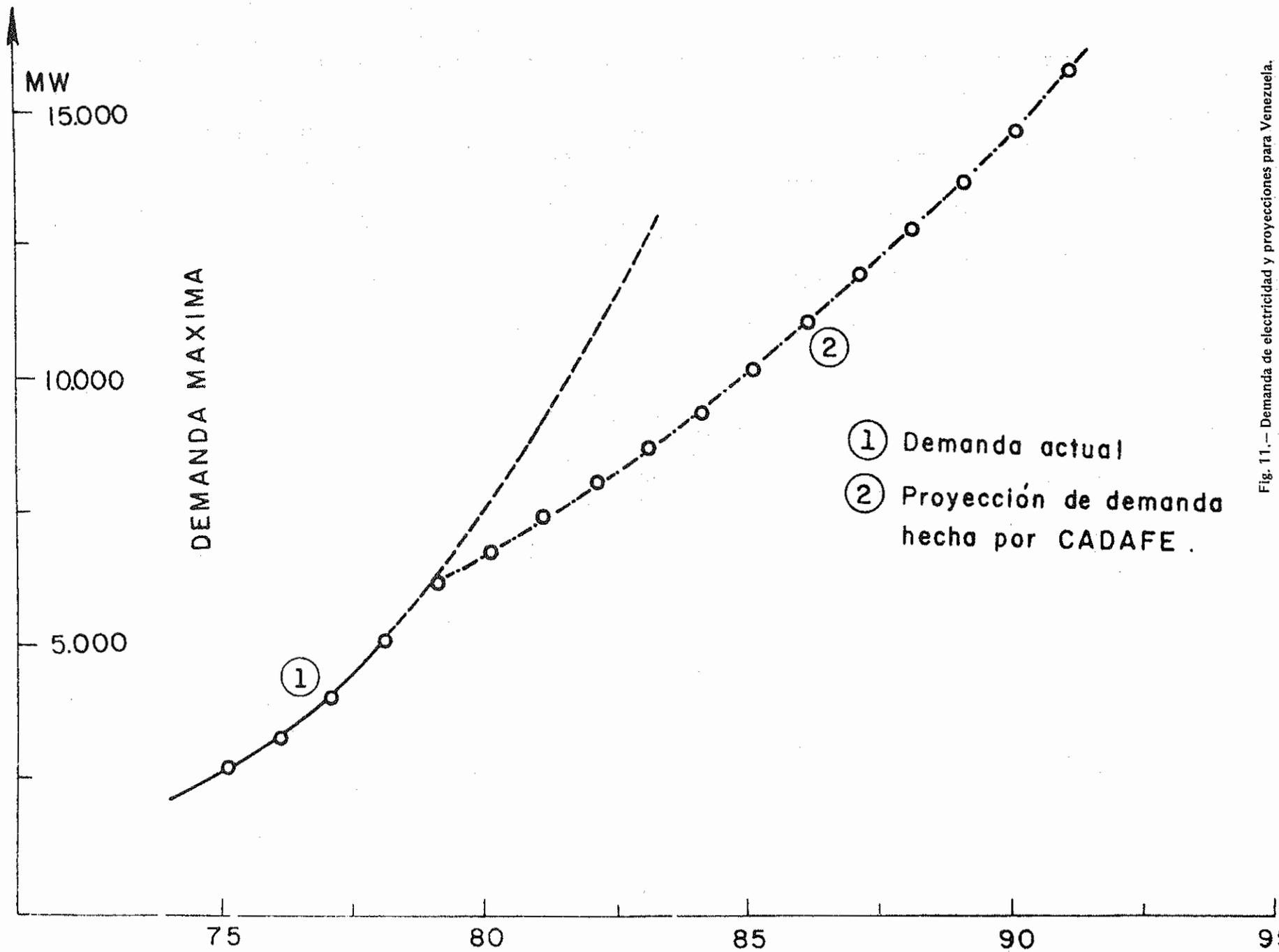
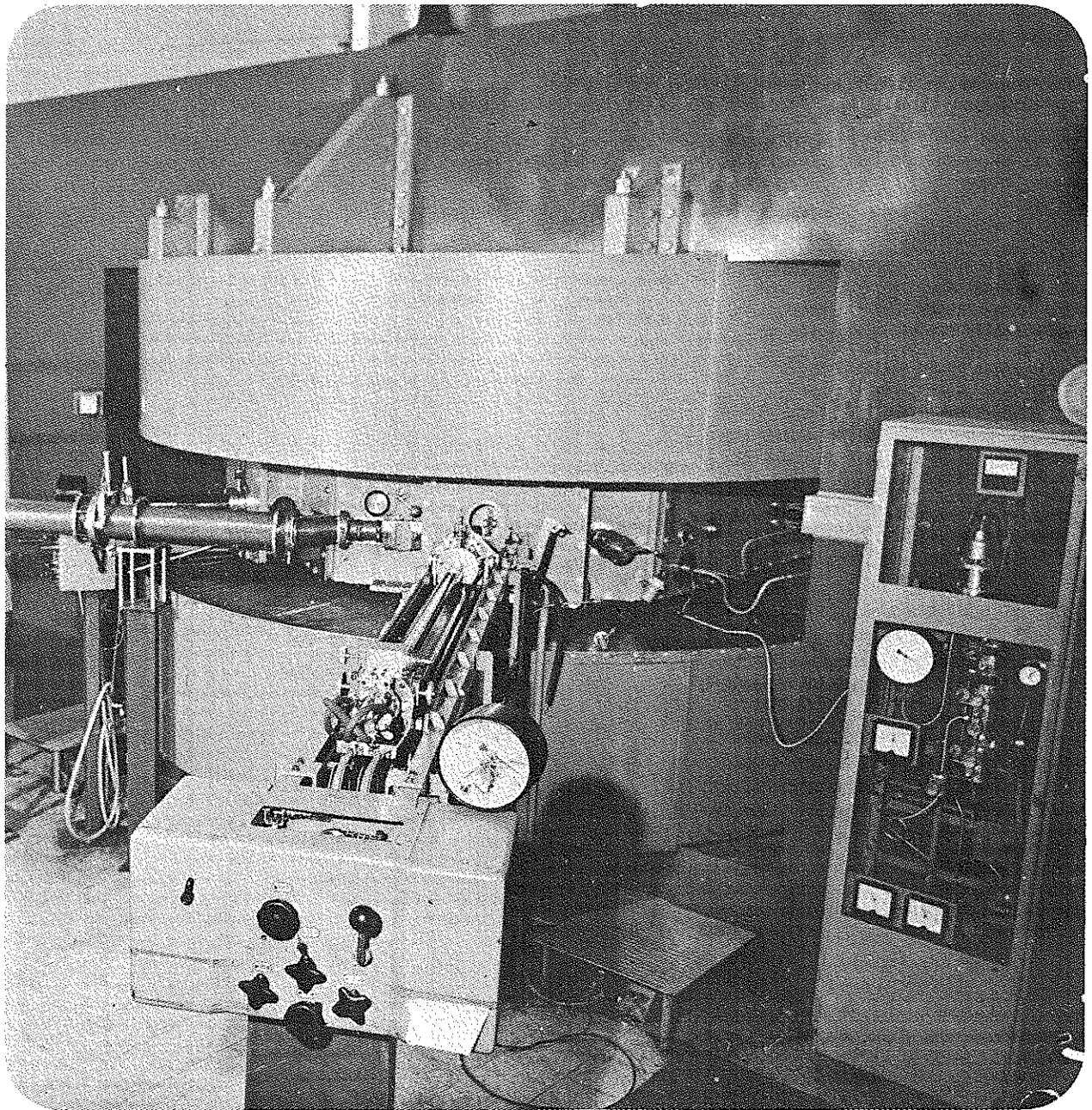


Fig. 11.— Demanda de electricidad y proyecciones para Venezuela.

# Técnicas de Prospección, Explotación, Beneficio y Producción de Combustibles Nucleares



**NUCLEAR FUELS – PROSPECTION,  
EXPLOITATION, BENEFIT AND PRODUCTION  
TECHNIQUES**

*This chapter contains a brief description of the principal techniques involved in the exploitation for radioactive minerals, and indicates the possible advantages and disadvantages of their application.*

*Reference is made to the techniques involved in prospecting for uranium, exploitation and benefit techniques, the production of nuclear fuels, and also other nuclear fuels such as plutonium and thorium.*

Trabajo presentado en el I Congreso Venezolano de Energía

## 1. Técnicas para prospección de uranio

En este capítulo se hace una breve descripción de las principales técnicas de exploración de minerales radiactivos, indicándose en lo posible las ventajas y desventajas de su aplicación.

### 1.1. Exploración radimétrica

Las técnicas más frecuentemente utilizadas en la prospección de uranio están basadas en las radiaciones gamma emitidas por tres elementos radiactivos:  $U^{238}$ ,  $K^{40}$  y  $Th^{232}$ .

La radiación gamma se mide en exploración moderna con dos tipos de instrumentos:

- a) Cintilómetro, el cual es sensible a toda la radiación gamma y sobre un nivel de energía de emisión determinado, por lo cual detecta a los tres elementos radiactivos. La unidad de medida es conteos por segundo.
- b) El espectrómetro, el cual discrimina la radiación gamma total, de acuerdo a las diferentes energías espectrales del U, Th y K registrando los valores separadamente, permitiendo conocer la naturaleza de la fuente de radiación.

Ambos tipos de instrumentos son de gran importancia en la exploración radimétrica a pie; esto significa la revisión en tierra y la cartografía geológica detallada en la fase de prospección y exploración. Los contadores portátiles son livianos y se pueden usar en regiones de difícil acceso.

Estos equipos instalados en un vehículo (exploración autotransportada) han resultado ser exitosos en el descubrimiento de anomalías de uranio.

El método tiene la ventaja de cubrir considerables distancias, pero su limitación principal es lo restringido del área accesible al vehículo y por eso la radiación sólo se detecta a lo largo de los caminos transitables.

Con el propósito de recabar información que permita delimitar regiones favorables en la fase prospectiva, una manera rápida es cubrir toda el área con una exploración aerotransportada sensible para los tres elementos. El método aéreo-radimétrico tiene sus limitaciones en las condiciones particulares de cada terreno. El avión o helicóptero debe volar a una altura no mayor de 100 a 150

m, y para obtener una cobertura regionalmente aceptable, las líneas de vuelo deberían estar espaciadas a intervalos del orden de 1 km. Para realizar espectrometría aérea se debe saber con exactitud la altura del avión con respecto al terreno, ya que la intensidad de la radiación registrada depende también de la altura de vuelo.

Las anomalías radimétricas aéreas tienen que ser localizadas en tierra y revisadas en detalle, con el propósito de relacionarlas a situaciones geológicas específicas.

Los resultados de la exploración radimétrica deben ser tratados cuidadosamente, debido a dos razones:

- a) La radiación gamma registrada por los instrumentos no se deriva del U, Th o K por sí mismos, sino de sus productos de desintegración. A menudo el U en la superficie está en desequilibrio con sus productos hijos. Los llamados valores equivalente de uranio son algunas veces no relacionables con el contenido del elemento, por lo cual el análisis químico es comúnmente necesario para su interpretación.
- b) Las radiaciones gamma provenientes de materiales naturales son absorbidas por aproximadamente 30 cm de roca y están muy atenuadas por encima de 150 m de altura. Si las rocas radiactivas están cubiertas por suelos, capas lateríticas, etc., esta técnica no es exitosamente aplicable.

### 1.1 Medidas de radón

Otro método utilizado exitosamente en la exploración de depósitos de uranio es la medida de radón o de partículas alfa provenientes de la desintegración del radón ( $Rn^{222}$ , período de vida medio 3,8 días), el cual es uno de los productos de la serie de desintegración del uranio. ( $U^{238}$ ).

En la actualidad se encuentran en el mercado dos tipos de sistemas portátiles para efectuar este tipo de medidas, uno mide el radón del gas del subsuelo, por absorción del gas de tal manera que entren en la cámara de ionización; y el otro consiste de pequeñas tazas las cuales poseen una película sensible a las radiaciones alfa, aquí se mide directamente el radón del subsuelo contando las huellas dejadas por las radiaciones sobre la película sensible.

La determinación de radón en el agua ha si-

do también aplicada extensivamente.

Los resultados de las técnicas de radón son de difícil interpretación, ya que el radón es un gas y migra a lo largo de fracturas por algún tiempo antes de llegar a la superficie.

### 1.3. Exploración geoquímica

En regiones montañosas o de difícil acceso, el método hidrogeoquímico ha probado ser exitoso en la localización de mineralizaciones de uranio.

El agua proveniente de rocas uraníferas contiene trazas de uranio (del orden de  $1 \times 10^9$ ), debido a la alta solubilidad del uranio hexavalente. El muestreo sistemático y el análisis posterior pueden detectar áreas con contenido anómalo de uranio.

Adicionalmente la toma de muestras de sedimentos o suelos es aplicable para la detección del uranio absorbido generalmente en la fracción arcillosa de los sedimentos. Este método tiene especial ventaja por que puede cubrir grandes áreas en un corto tiempo, y se fundamenta en el análisis directo del contenido de uranio y sus elementos asociados.

Recientemente la técnica de análisis por activación de neutrones y fluorometría laser, ha promovido la prospección geoquímica de uranio. Estos métodos son aplicables a muestras de agua, suelo y rocas, siendo rápido y relativamente económico.

### 1.4. Perforación y registro gamma

La perforación es una técnica de exploración directa de las unidades geológicas que no afloran en un área, permite obtener información de la estratigrafía, de las estructuras geológicas de la zona, de las características litológicas de las rocas (muestras de canal y núcleos) y de los fluidos existentes.

Básicamente existen métodos generales de perforación.

#### 1.4.1. Percusión

En este método se utiliza el efecto cortante de una herramienta especial, la cual se eleva y se deja caer sobre la roca que se perfora. Existen numerosos tipos de percusión, pero cabe mencionar que dentro de la actividad exploratoria es de gran utilidad el método de percusión neumática.

#### 1.4.2. Rotativa

En este método la herramienta cortante se hace girar desde la superficie mediante un motor. Para la exploración es de gran importancia la perforación a diamante, la cual permite la recuperación de núcleos no perturbados de la roca que se desea estudiar.

Adicionalmente se han desarrollado métodos combinados donde además de la rotación se produce un efecto de martilleo sobre la roca, permitiendo incrementar la velocidad de penetración.

#### 1.4.3. Registro gamma

Se han desarrollado métodos geofísicos de exploración del subsuelo, que permiten medir algunas características de las rocas perforadas y no traídas a la superficie para su análisis. Dentro de éstas, y de especial interés en la exploración de uranio, se encuentran los registros de rayos gamma, que consisten en la medición de la radiactividad natural de la columna perforada, utilizando una sonda fija a un cable que se pasa por el sondeo. Este método es económico porque sólo requiere realizar la perforación sin la recuperación de núcleos.

### 2. Técnicas de explotación

La decisión sobre la técnica de explotación que se debe aplicar a un depósito de uranio depende en particular de las características del mismo:

Mineral contenido en el cuerpo mineralizado.

Geometría del cuerpo mineralizado.

Tipo de mena y roca caja.

Infraestructura.

Aspectos ambientales.

#### 2.1. Minería a cielo abierto

La minería de uranio a cielo abierto es similar a la de otros minerales con la sola excepción de los procedimientos adicionales para la prevención de la radioactividad. La radioactividad es un problema menor en las minas de bajo tenor (menor del 1 % de U) debido a que la exposición a cielo abierto diluye los productos de la serie de desintegración radiactiva del gas radón. El equipo utilizado así como la técnica de minería para la explotación del mineral son convencionales.

#### 2.2. Minería subterránea

La minería subterránea puede ser desarrollada en terrenos llanos por pozos verticales, rampas de ventilación y en terrenos montañosos con galerías horizontales.

Los métodos de minería subterránea para extracción de uranio al igual que la minería a cielo abierto son similares a los utilizados para la explotación de otros minerales. Las radiaciones pueden ser controladas en la minería del subsuelo sólo con suficiente ventilación, y adicionalmente recubriendo las paredes de los túneles con películas plásticas.

#### 2.3. Minería por disolución

El principio de la minería por disolución es la no extracción del material mineralizado fuera del depósito sino el ataque del cuerpo mineralizado en su lugar con ácidos o soluciones alcalinas.

Hay dos procedimientos técnicos para la disolución del uranio en el depósito:

##### a) Lixiviación in situ

Este consiste en la inyección de soluciones lixiviadas en el cuerpo mineralizado con una buena porosidad y permeabilidad, las cuales pueden ser naturales o pueden ser producidas desde la superficie por fracturamiento hidráulico o explosivo.

##### b) Lixiviación por percolación

Esta consiste en fracturamientos artificiales de grandes secciones de los depósitos en galerías subterráneas existentes y lixiviación por percolación de la roca fracturada suelta in situ.

Es necesario algunas veces excavar parte del depósito fracturado y suelto para incrementar la permeabilidad de la parte remanente in situ. La parte excavada es tratada por lixiviación pero en la superficie. Ambos procedimientos son muy diferentes, la lixiviación in situ puede ser realizada con reactivos de baja concentración y por largo tiempo, para que los poros o las fisuras no se obstruyan, lo cual impediría el paso de las soluciones lixiviantes. En contraste, la lixiviación por percolación puede ser realizada con soluciones concentradas. Las soluciones obtenidas son extraídas para su refinación, la cual se hace usualmente por intercambio iónico. La recuperación del uranio por estos métodos es aproximadamente del setenta y cinco por ciento.

### 3. Técnicas de beneficio

En los depósitos de uranio la concentración de promedio de U es aproximadamente de 1 Kg por tonelada. Los suministros a las fábricas de combustibles para reactores nucleares, se hace en forma de concentrados de uranio de elevada ley 75 95 0/0 de  $U_3O_8$ . Para obtener estos concentrados a partir del material proveniente de las minas se han desarrollado diferentes procesos, cuyas principales características se describen a continuación:

### 3.1. Hidrometalurgia del uranio

Las técnicas de beneficio de los minerales de uranio por vía húmeda son los procedimientos que se utilizan actualmente en la industria. Los procedimientos generales para el tratamiento son:

- Preparación del mineral.
- Solubilidad del uranio.
- Separación de los líquidos fértiles y los sólidos estériles.
- Concentración, purificación y recuperación del uranio existente en los líquidos.
- Operaciones auxiliares.

### 3.2. Preparación del mineral

Normalmente la preparación del material se logra por operaciones de reducción de tamaño mediante la trituración y molienda. El grado de molienda está determinado por exigencias de tipo físico (manejo del material). En los materiales de baja ley la trituración se limita al máximo.

Ocasionalmente se puede tostar el mineral para eliminar algún componente (carbón, sulfuros), para mejorar sus características de sedimentación o filtración, para aumentar la porosidad del mineral, o para formar compuestos solubles de uranio con algún elemento presente en la mena.

### 3.3. Solubilización del uranio

El uranio de los minerales se solubiliza por tratamiento con soluciones de carbonatos alcalinos o de ácidos inorgánicos. Los cuatro diagramas básicos utilizados actualmente en la industria se muestran en la figura III 1. La lixiviación es la etapa fundamental de cada proceso y determina la recuperación alcanzable. Generalmente el ataque ácido da recuperaciones más altas.

### 3.4. Proceso alcalino

La lixiviación alcalina se realiza en soluciones de carbonato bicarbonato alcalino. El uranio tiene que estar en forma hexavalente o hay que oxidarlo durante el proceso.

El proceso requiere:

- Molienda fina, 80 0/0 por dehaño de 200 mallas.
- Temperatura elevada, a ebullición.
- Tiempos de ataques largos, 18-48 horas

Es esencial la recuperación de la mayoría (2/3) de los reactivos lixiviantes, por lo que se trata de reducir al mínimo la relación líquida a sólido y se utilizan filtros que manejan pulpas floculadas. Se recupera el uranio agregando sosa hasta tener un exceso de 5 g de NaOH/l. Los líquidos agotados de uranio se carbonatan y se recirculan al ataque. El proceso alcalino es de aplicación limitada a las menas que contienen carbonatos y consumirían demasiado ácido.

### 3.5. Proceso ácido

#### 3.5.1. Lixiviación

Los minerales hexavalentes de uranio son fácilmente solubles en ácido diluido, en contraste con los tetravalentes que requieren ácidos concentrados o una combinación de ácido diluido y oxidante.

Entre los factores que más influyen en el proceso están:

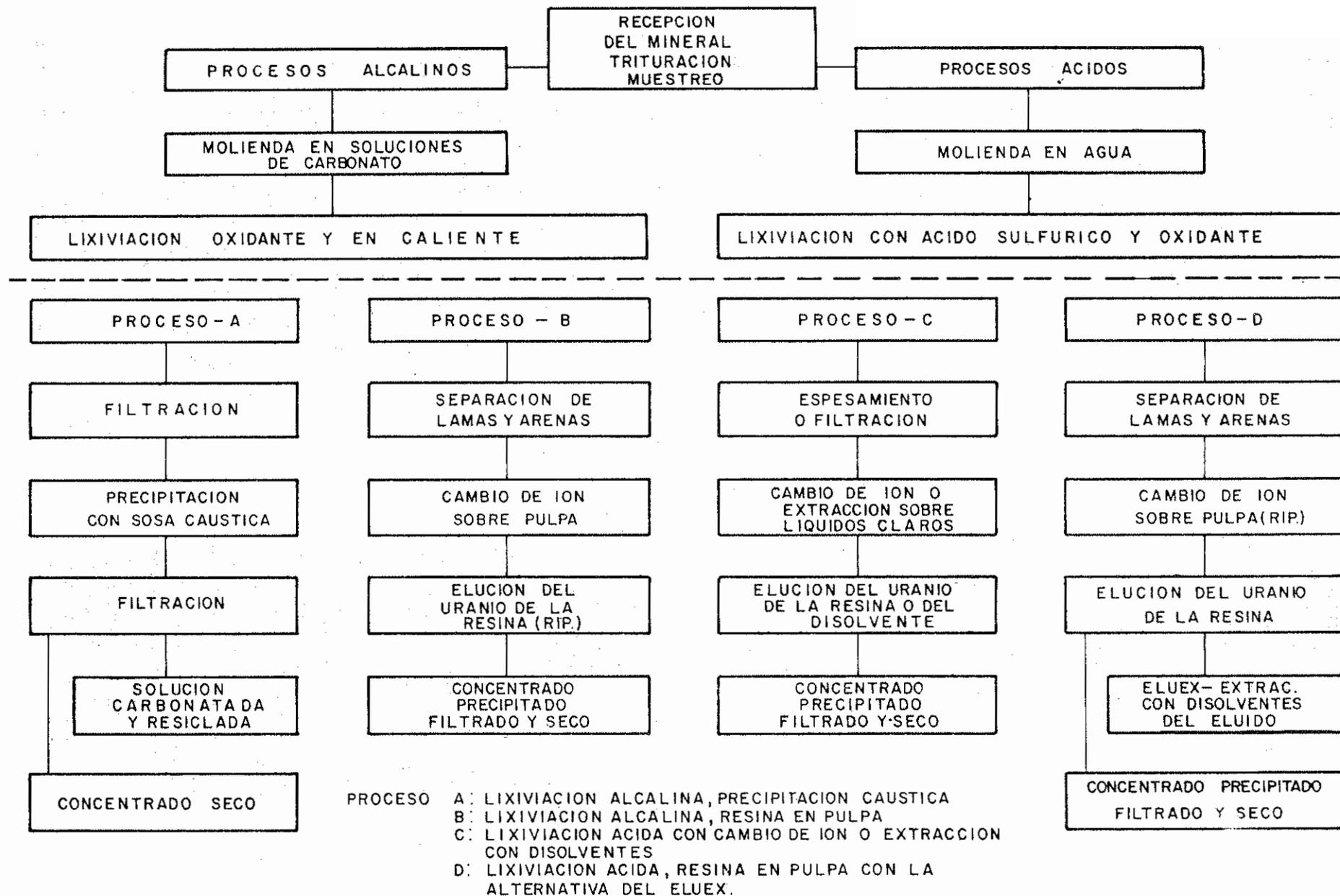
a) Las características del mineral. Los minerales de uranio son susceptibles de lixiviar, siendo la única limitación la de los silicatos u óxidos complejos que requieren condiciones muy drásticas. La ganga influye porque la presencia de calizas, carbonatos y de algunas arcillas implican un consumo que puede ser tan grande que exija el proceso alcalino o una separación previa de los compuestos perturbadores.

b) Grado de molienda.

El único requisito es que el mineral a disolver sea accesible al líquido de ataque. Las granulometrías más utilizadas están comprendidas entre 28 y 48 mallas (9-5mm), pero son variables en cada caso.

c) Concentración de ácidos

Normalmente son adecuadas las concentraciones de 3 a 7 g  $H_2SO_4$  /l. La dosis añadida debe ser suficiente para que una vez finalizada la lixiviación, la acidez sea suficiente para que no se produzca la precipitación de uranio. El valor de esta acidez final depende de los aniones presentes; el consumo



85 FIG.-III.1. PROCESOS COMERCIALES DE OBTENCION DE CONCENTRADO DE URANIO

Tomado de : JOSA , 1974. Pag. 26

de ácido es, por consiguiente, específico para cada mena, y depende casi exclusivamente de la ganga acompañante. El consumo normal de ácido sulfúrico oscila entre 25 Kg y 100 Kg, aunque puede ser mucho mayor.

d) Oxidante

Cuando el uranio está en forma tetravalente es necesario usar un oxidante para pasarlo a forma hexavalente para que resulte soluble en soluciones ácidas diluidas. Hay que hacer notar que aunque valores altos de acidez favorecen la disolución, cuando hay minerales tetravalentes de uranio la oxidación se ve cinéticamente disminuida. Los oxidantes más utilizados son el dióxido de manganeso y el clorato sódico, los cuales a pesar de sus potenciales de oxidación mayores que los de uranio ( $U^{+4} \rightarrow U^{+6} + 2e$ ) se muestran ineficaces en la oxidación del uranio tetravalente al hexavalente directamente y es necesaria la presencia de iones férricos que actúan como catalizadores (0.5 a 3 g Fe<sup>++</sup>/l).

e) Temperatura

A pesar del aumento de la velocidad de la disolución del uranio con la elevación de la temperatura, hay que considerar que también produce un ataque más efectivo a la ganga, lo que origina mayor consumo de ácido y eventualmente de oxidante, impurificando además la solución. El intervalo de temperatura en el que se realizan la mayoría de las operaciones industriales oscila entre 200° C y 600° C.

f) Duración de la lixiviación

Esta variable está íntimamente ligada con las demás condiciones de ataque, fundamentalmente con la temperatura y la concentración del ácido. Existen dos tendencias en el beneficio de minerales de uranio:

una que utiliza condiciones de ataque fuertes (concentraciones altas de ácido a temperaturas elevadas) y tiempos cortos, y otra que realiza una lixiviación más prolongada en condiciones más suaves. La elección del método a usar

depende de las características del mineral y del tipo de instalación.

g) Relación de líquido a sólido de la pulpa.

Las disoluciones empleadas en la práctica varían dependiendo del mineral, grado de molienda y tipo de agitación. Las relaciones más ampliamente utilizadas corresponden a concentraciones de sólidos entre 50 y 55 o/o, pero con menas ricas en arcillas puede bajar al 40 o/o y con pulpas de baja viscosidad puede llegarse hasta el 65 o/o. Un caso extremo es la suspensión con ácido en la que se alcanza del 85 al 90 o/o, en sólidos.

h) Agitación.

Ejerce muy poca influencia, pudiendo ser la mínima suficiente para mantener los sólidos en suspensión.

i) Realización práctica.

La lixiviación con agitación a presión normal es la más extendida en las realizaciones industriales. El equipo utilizado es de tres tipos: agitación neumática, agitación mecánica y combinado (agitación mecánica muy suave y circulación neumática adicional de la pulpa)

Otros procedimientos de aplicación limitada son: el curado ácido, la lixiviación a temperaturas próximas a ebullición, y la lixiviación a presión. Actualmente cobra cada vez más importancia la lixiviación estática, en la cual la solución lixivante se hace pasar a través de un lecho de mineral, bien sea por inundación del lecho (percolación) o por riego y escurrido (copilaridad). Se incluye dentro de la lixiviación estática la lixiviación bacteriana (producción del agente oxidante por oxidación de sulfuros por bacterias existentes en el medio o aportadas).

El alcance de la lixiviación estática se ha limitado a minerales de baja ley cuyo contenido de uranio no paga los gastos de una instalación convencional y a yacimientos pequeños situados a una distancia grande de una fábrica de tratamiento de tal forma que los gastos de transporte son prohibitivos.

### 3.5.2. Separación sólido-líquido.

Esta operación se presenta en varias partes del diagrama de tratamiento (después de

la molienda húmeda, después de la lixiviación, después del lavado para clarificar las soluciones fértiles y en la etapa final de recuperación) y es de uso general el empleo de floculantes.

El equipo utilizado es semejante al usado en la práctica hidrometalúrgica convencional, modificado para adaptarlo a los medios corrosivos y a una eficacia mayor en la separación. Los métodos de separación mayormente utilizados son:

- Filtración en varias etapas con lavado en contracorriente.
- Decantación en contracorriente y lavado.
- Combinación de los anteriores.

Los principales factores que influyen en la elección de los métodos a utilizar son:

- La ley de mineral
- Las características de filtrabilidad o de sedimentación de la pulpa lixiviada
- El tonelaje a manejar
- El costo y disponibilidad de equipo.

### 3.5.3. Recuperación del uranio por cambio de ion con resinas sólidas.

Las resinas intercambiables aniónicas, fijan el uranio de soluciones sulfúricas. La operación consiste en fijar el complejo de uranio sobre la resina (carga) y desplazarlo luego de ella (elución) por una solución salina adecuada. Las resinas más empleadas son capolímeros del estireno y bivinilbenceno con grupos de aminas cuaternarias. Recientemente se han desarrollado resinas con grupos terciarios que son más selectivas y fáciles de eluir.

El eluido resultante tiene uranio (5-15g  $U_3O_8/l$ ), algo de hierro férrico y los aniones eluyentes, sulfatos y fosfatos si existían en la solución fértil. El uranio se recupera de esta solución por precipitación.

### 3.5.4. La extracción con solvente orgánico.

Este proceso tiene dos fases: extracción y reextracción. En la primera el disolvente se pone en contacto con el líquido a tratar y el uranio pasa a la fase orgánica. En la segunda fase se produce el proceso inverso pasando el uranio a la fase acuosa. En este proceso se logra purificar y concentrar el uranio. Se aplica únicamente a líquidos ácidos, ya que el proceso en líquidos alcalinos no es económico.

Las ventajas de este método son las siguientes:

tes:

- Simplicidad y flexibilidad para la operación.
- Fácil control.
- Rendimiento y selectividades altas.
- Bajo costo de instalación.
- Fácil regeneración del disolvente cargado.
- Aplicable a la recuperación de subproductos metálicos valiosos, como por ejemplo: torio en los líquidos estériles de uranio producidos en Blind River, Canadá.
- Eliminación continua de los productos venenosos.

## 4. Producción de combustibles nucleares

Se denomina combustible nuclear al compuesto de material que es apto para ser utilizado dentro del núcleo del reactor. Se trata en este punto de manera descriptiva los procesos y procedimientos empleados para transformar el uranio en formas adecuadas para ser utilizado. Además se tratará al plutonio y al torio debido a sus conexiones con el empleo de uranio. Se ha creído conveniente colocar un grupo de anexos al presente punto donde se clarifican algunos conceptos y se amplían detalles de todo lo concerniente a los combustibles nucleares en virtud de ser esta una actividad no tradicional en Venezuela (véase anexo 1).

### 4.1. Tratamiento de los concentrados de uranio.

Las transacciones comerciales de uranio, tradicionalmente, se basan en el producto concentrado de diuranato amónico ó sódico ( $(NH_4)_2 U_2O_7$  y  $Na_2 U_2O_7$ ).

Estos concentrados de diuranato tienen una ley comprendida entre 75 y 90 % de  $U_3O_8$  y son conocidos como "torta amarilla" (yellow cake).

Su costo se expresa en \$/libra de  $U_3O_8$ . El uranio que ha de utilizarse como combustible nuclear debe estar libre de impurezas por razones inherentes al funcionamiento de los reactores. Esto significa que los productos obtenidos en las etapas de concentración del mineral deben someterse a una nueva purificación. Son ampliamente utilizados dos procedimientos: El primero de ellos se basa en la extracción con disolvente del nitrato de uranio y el otro en la volatilización del hexafluoruro de uranio.

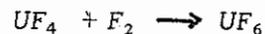
En el proceso de extracción líquido-líquido, el concentrado de uranio (diuranato), finalmente molido, se somete a digestión en ácido nítrico, de suerte que el uranio queda en disolución acuosa en forma de nitrato de uranio. La suspensión resultante, sin filtrar, se pasa por una columna de extracción, de arriba hacia abajo, a través de la cual, circula en contracorriente, un disolvente orgánico.

nico, tributil fosfato (TBP) diluido con un hidrocarburo inerte (kerosen).

El nitrato de uranilo es extraído por el medio orgánico y la disolución se lava con agua o ácido nítrico diluido para eliminar pequeñas cantidades de impurezas. Sigue luego una columna de separación, en la que se utiliza agua para la reextracción del uranio, que queda así en disolución acuosa. Esta disolución se evapora hasta que su composición corresponde aproximadamente a la del nitrato de uranilo hexahidratado . . . . .  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , conocido con el nombre abreviado de UNH. En el procedimiento basado en la volatilidad del fluoruro, se comienza por la molienda y clasificación del concentrado de  $U_3O_8$  con el fin de obtener un material de alimentación conveniente para tratamiento en lechos fluidizados. El material clasificado pasa a un reactor de leche fluidizado, donde se mantiene a temperaturas comprendidas entre 540 y 560°C y es reducido por hidrógeno gaseoso, procedente de la disociación térmica del amoníaco.

El producto, constituido fundamentalmente por  $UO_2$  ("óxido pardo"), pasa sucesivamente por dos reactores de lecho fluidizado, donde se produce la reacción con fluoruro de hidrógeno anhidro, a temperaturas de 480 - 540°C - 650°C, respectivamente. La reacción que tiene lugar:

$UO_2 + 4HF \longrightarrow 2H_2O + UF_4$ , produce tetrafluoruro de uranio ("sal verde"), un sólido no volátil que funde a 960°C. La etapa siguiente consiste en hacer reaccionar el tetrafluoruro con flúor gaseoso a temperaturas comprendidas entre 340 y 480°C, para formar el hexafluoruro de uranio:



Aunque el hexafluoruro de uranio es sólido a la temperatura ordinaria sublima a temperaturas superiores a 56,4°C, a la presión atmosférica, de suerte que sale del reactor de fluorización en forma de vapor, pasando luego a los condensadores, donde se recoge el hexafluoruro crudo en forma sólida. En la etapa final el  $UF_6$  se somete a un proceso de purificación por destilación fraccionada a la presión de 50 a 100 Lb/pulg<sup>2</sup>. El producto obtenido de esta manera cumple con los requerimientos nucleares. Actualmente existe la tendencia a comercializar el uranio bajo esta última forma ya que así tiene valor agregado superior y puede ser llevado directamente a las plantas de separación isotópica para su enriquecimiento o también puede convertirse en dióxido de uranio ( $UO_2$ )

para ser utilizado en los reactores de uranio natural.

Sin embargo, para estos últimos reactores, el dióxido de uranio suele obtenerse usando como material de partida la disolución acuosa concentrada de nitrato de uranilo resultante del proceso de extracción líquido-líquido. Esta disolución se calienta en un desnitrificador, a 450°C, para eliminar el exceso de agua y descomponer el nitrato, obteniéndose así el trióxido de uranio,  $UO_3$  ("óxido naranja"). Este último se reduce luego en un reactor de lecho fluidizado, a la temperatura de 600°C mediante hidrógeno obtenido por descomposición térmica del amoníaco. El producto final es dióxido de uranio puro, que puede usarse para la fabricación de elementos combustibles, en los casos, como se dijo anteriormente, que no requieran del empleo de material enriquecido.

Para la obtención del dióxido de uranio a partir del hexafluoruro de uranio (enriquecido o no) se somete éste a un proceso de hidrólisis con una solución diluida de amoníaco, formándose un precipitado de diuranato amónico. Una vez filtrado y seco, el precipitado se calienta en una mezcla de vapor de agua e hidrógeno, producido este último por descomposición térmica del amoníaco, con lo que se obtiene dióxido de uranio puro.

#### 4.2. El enriquecimiento

La producción de energía nuclear mediante el proceso de la fisión, se basa fundamentalmente, en la escisión del átomo de uranio. En la naturaleza se encuentra una mezcla de tres isótopos de este elemento con números másicos 234, 235 y 238. Los contenidos relativos de estos isótopos en el uranio natural y sus masas atómicas se dan en la siguiente tabla:

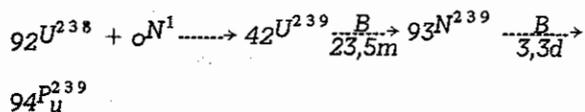
TABLA III.1

COMPOSICION ISOTOPICA DEL URANIO NATURAL

ISOTOPO	% EN PESO	MASA ATOMICA
U 234	0.0058	234,1141
U 235	0.711	235,1175
U 238	99,283	238,1252

Como puede verse el más abundante es el  $U^{238}$ , mientras que el  $U^{235}$  se encuentra en una proporción de 0.711 %. Por lo que se refiere al tercer isótopo, su proporción en el uranio natural es tan pequeña que se puede ignorar para fines prácticos. El isótopo más interesante desde el punto de vista de su aplicación directa a la producción de energía

mediante el proceso de la fisión es el  $U^{235}$ . El  $U^{238}$  es también fisionable pero sólo mediante neutrones de alta energía (aprox. 1.4 Mev) pero su interés principal no es como material fisionable sino como material fértil, que mediante la captura de un neutrón puede dar lugar a la formación de un átomo de  $Pu^{239}$ .



Esta reacción juega un papel importante en el mejor aprovechamiento del uranio en un reactor y es de primordial importancia en la explotación de los reactores reproductores rápidos ya que el plutonio es fisionable de manera similar al  $U^{235}$ .

El hecho de que el  $U^{238}$  sea fisionable con neutrones de alta y baja energía, hizo que desde el primer momento se plantease la conveniencia de incrementar el contenido de  $U^{235}$  en la mezcla con el 238, es decir, enriquecer el uranio en este isótopo ya que daba una mayor flexibilidad a su empleo. La necesidad de contar con uranio enriquecido se hizo sentir desde los primeros momentos puesto que era menester que dicho producto poseyese un enriquecimiento en  $U^{235}$  de al menos 90 o/o, para poder fabricar las primeras bombas atómicas. Posteriormente los reactores nucleares de propulsión de submarinos también requerían uranio con el mismo enriquecimiento, y más adelante, los reactores de agua ligera, como los conocemos hoy en día requieren enriquecimiento que oscilan entre el 2 y el 4 o/o en  $U^{235}$ .

Han sido ensayados y aún se encuentran en desarrollo, varios procesos para el enriquecimiento, pero el más comunmente utilizado es el conocido como difusión gaseosa. Actualmente se trabaja en el proceso de centrifugación que presenta un gran interés industrial en el futuro. Por otra parte ya fue contratada la primera planta a escala industrial para enriquecimiento por el método de toberas (Brasil). El compuesto de uranio que se emplea en todos los procesos mencionados es el  $UF_6$ , que por otra parte presenta unas características que dificultan su manejo. El  $UF_6$  es sólido a temperatura ordinaria (se volatiliza a 56.6°C a la presión atmosférica), lo que hace necesario trabajar a presiones y temperaturas que lo mantengan en forma de gas. Aunque el  $UF_6$  es un compuesto estable, es excepcionalmente corrosivo y en presencia de material hidrogenado, especialmente vapor de agua, se hidroliza y forma ácido fluorhídrico que ataca fácilmente a casi todos los materiales. Esto im-

plica una serie de medidas que deben ser tomadas para evitar la contaminación del  $UF_6$  por la atmósfera. Sin embargo, este compuesto tiene la ventaja de que el flúor natural está compuesto por un solo isótopo, por el cual las diferencias de masa entre las diferentes moléculas, se deben únicamente a los isótopos de uranio. La clarificación de ciertos conceptos y procedimientos de la separación isotópica se presentan en el anexo 1.

#### 4.3. Elaboración de elementos combustibles.

La generalidad de los reactores nucleares emplean el uranio como combustible ya sea enriquecido o no, bajo diferentes formas. La forma más diseminada es la de pastillas de óxido de uranio, encapsuladas en varillas de aleaciones de circonio. Estas varillas se colocan en arreglos conocidos como elementos combustibles, y el conjunto de arreglos se conoce como núcleo del reactor. Existe toda una variedad de tipos de arreglos, elementos, varillas y pastillas, pero todos tienen aspectos comunes.

En el núcleo del reactor imperan una serie de condiciones durante la operación que exigen un comportamiento adecuado de los materiales que lo conforman, pues la necesidad de conseguir altas temperaturas y potencias específicas elevadas es un factor determinante en la eficiencia del reactor. Inicialmente se tenía el uranio como combustible en forma metálica, pero presentaba este una serie de problemas, ya que a temperaturas elevadas se producían cambios dimensionales considerables. En presencia de estos hechos se investigó, y aún se continúa haciéndolo, hasta llegar a los combustibles cerámicos constituidos fundamentalmente por óxido de uranio.

Cuando se fabrican pastillas de óxido de uranio, básicamente se persiguen las siguientes propiedades:

- a) Alta densidad, a fin de que no sufran hinchamientos y deformaciones estructurales al ser sometidas a las intensas radiaciones y temperaturas en el núcleo del reactor.
- b) Alta conductividad térmica.
- c) Alto punto de fusión.
- d) Propiedades termodinámicas adecuadas (capacidad calorífica, entalpía, entropía).

Todas estas propiedades dependen en cierto grado de las propiedades físicas del material

en sí, y éstas, de la forma de su fabricación. La cristalización, densidad y dureza pueden ser controladas mediante el uso de diversos procesos.

#### Fabricación de pastillas sólidas de $UO_2$

Las pastillas de  $UO_2$ , de alta densidad pueden producirse por las técnicas clásicas empleadas en metalurgia de polvos tales como la extrusión ó el prensado en caliente. Se ha empleado también la técnica de afilado de un tubo metálico que contiene el polvo; este último proceso puede producir densidades de hasta  $9.5 \text{ gm/cm}^3$ , sin tratamiento a temperaturas elevadas. No obstante, el método que más se ha utilizado es el prensado en frío seguido de la sinterización en atmósfera controlada. Para facilitar el prensado se puede emplear un lubricante sólido, aunque esto puede conducir a una disminución de la densidad del producto final. El tamaño de las partículas de polvo de  $UO_2$  tiene un efecto importante en la densidad del producto final.

En líneas generales, el proceso de fabricación de las pastillas es como sigue:

El  $UO_2$  se pasa por un tren de molienda, con el objeto de obtener los polvos finos, posteriormente se mezcla con alcohol etílico y se amasa para obtener una mezcla homogénea. Se requiere entonces secar el compuesto para someterlo a una prensa hidráulica que les dará la forma. Finalmente se pasa por dos hornos, uno para eliminar los aglomerantes y otro para la sinterización.

#### Las varillas combustibles.

Las pastillas de  $UO_2$  se encapsulan herméticamente dentro de unas varillas de Ciraloy (una aleación de circonio y otros materiales) con el objeto de tener el combustible dentro de un recinto cerrado y evitar el escape de los productos de fisión y el contacto con el refrigerante del reactor, cosa que es siempre deseable ya que de otra manera se producirían corrosiones y contaminación.

Las mencionadas varillas se fabrican por maquinado en frío, mediante prensas hidráulicas partiendo de tubos con el espesor adecuado. Posteriormente se introducen las pastillas dentro de la varilla y se procede a la soldadura y llenado en una atmósfera de helio.

#### El elemento combustible.

Consiste este en un arreglo de varillas con el objeto de darle dureza estructural y evitar así la vibración dentro del

reactor que terminaría por producirle a aquéllas rupturas o agrietamientos.

El núcleo de un reactor típico de 1200 MWe pesa aproximadamente unas 90 toneladas, conteniendo un número variable de elementos combustibles.

#### 4.4 El ciclo del combustible nuclear.

Los elementos combustibles tienen que ser retirados del núcleo del reactor mucho antes de que los materiales físi les y fértiles hayan sido consumidos, es decir que son extraídos con un considerable remanente de combustible sin quemar. Existen varias razones para esto, entre las que se mencionan las siguientes:

- La acumulación de productos de fisión y de isótopos de elementos pesados que actúan como absorbente de neutrones y obstaculizan el buen funcionamiento del reactor.
- La disminución del porcentaje de  $U 235$  hasta niveles inferiores al mínimo requerido para la operación.
- Cambios en las dimensiones y forma de los elementos combustibles sometidos durante largo tiempo a temperaturas y presiones altas. El efecto de las radiaciones contribuye al agotamiento del material estructural, lo que podría traducirse en su colapso con la consiguiente contaminación del refrigerante del reactor.

En muchos reactores de potencia funcionando actualmente el combustible debe ser reemplazado cuando sólo el 1 % ó 2 % del uranio ha sido usado. Sin embargo, aún con este grado limitado de quemadura, los núcleos de los reactores en cuestión tienen una vida útil de tres a cuatro años.

En todos los reactores de potencia sólo 1/3 a 1/4 del núcleo es extraído en una recarga que se hace anualmente.

##### 4.4.1. Reprocesamiento del combustible irradiado.

El combustible irradiado, una vez extraído del núcleo del reactor es intensamente radioactivo debido a su alto contenido de productos de fisión. Para permitir que esta radioactividad disminuya, los elementos son almacenados en piscinas de agua. En

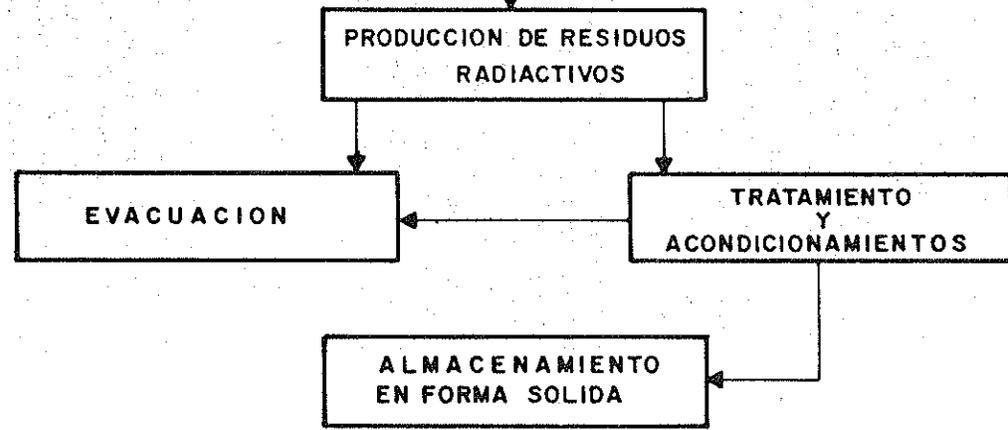
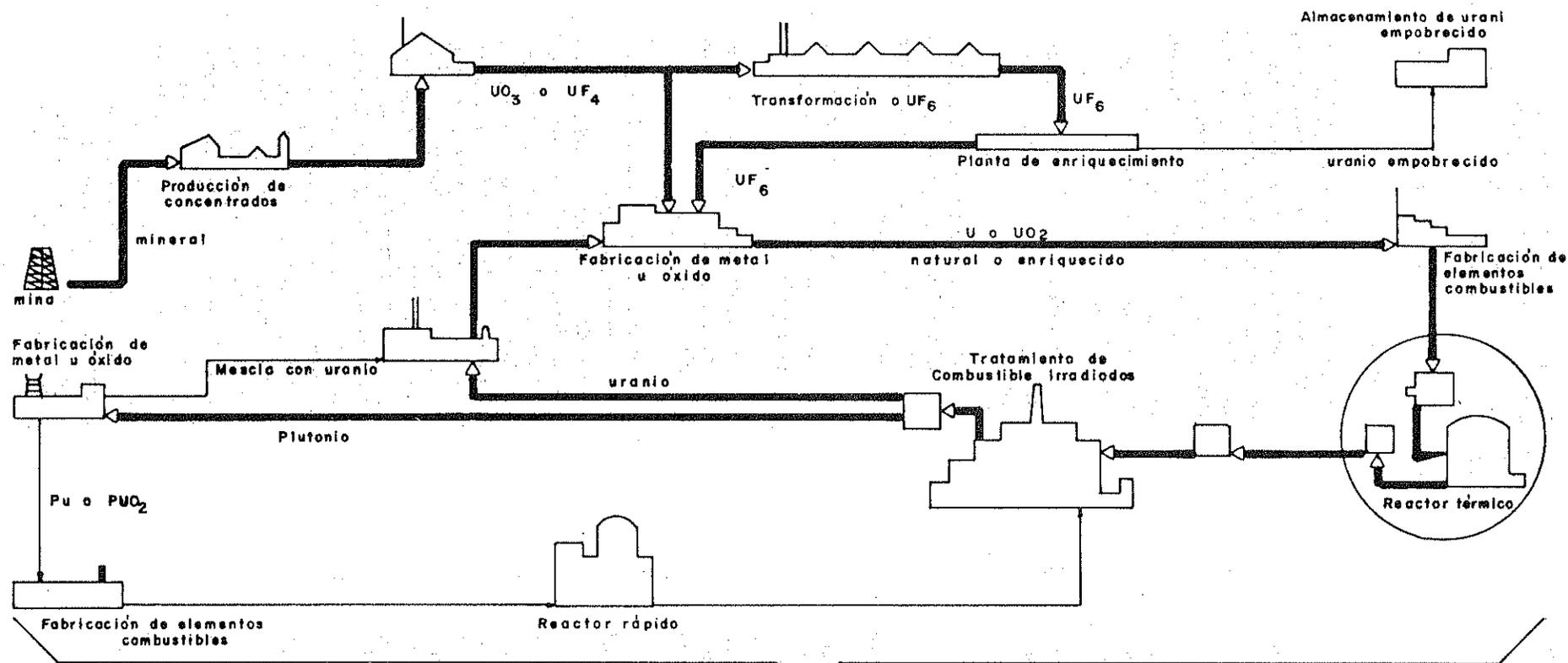


FIG.- III.2. CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

120 días la actividad decae en un 90 0/0. Posteriormente son encapsulados en recipientes fuertemente blindados para llevarlos a las plantas de reprocesamiento.

En las mencionadas plantas el combustible es cortado en trozos dentro de un recinto blindado por paredes de concreto, donde toda la maquinaria es operada a control remoto. Posteriormente los segmentos de varillas combustible son disueltos en ácido nítrico para recuperar el combustible.

Un proceso de extracción química separa el uranio y el plutonio de la solución ácida en la que se queda hasta el 99 0/0 de los desechos de fisión. Estos desechos son concentrados mediante evaporación y almacenados en el subsuelo como líquidos en tanques de acero inoxidable durante 5 años. Estos desechos son luego solidificados y tratados conforme lo establecen las directivas vigentes en cada país para la manipulación de desechos radioactivos sólidos.

El rendimiento del proceso total es tal que permite recuperar hasta el 99 0/0 del uranio y plutonio disponibles, pudiendo convertirlos en nuevos elementos combustibles. El uranio así recuperado puede tener concentraciones de hasta 0.83 0/0 de U235 el cual puede convertirse en UF<sub>6</sub> para ser enviado a las plantas de difusión gaseosa y enriquecerlo nuevamente, con lo que se cerraría el ciclo.

Más adelante se mostrará el destino del plutonio.

A manera de ilustración podemos decir que una tonelada de uranio enriquecido al 3 0/0 usada como combustible nuclear en un reactor produce 200 GW/hora de electricidad que es suficiente para satisfacer las necesidades de 110.000 personas en Venezuela durante un año (basándonos en el actual consumo per cápita). El reproceso de esta tonelada nos dará de 0.4 a 0.8 metros cúbicos de desechos líquidos de alta radioactividad, o cerca de 0.04 metros cúbicos de desechos sólidos.

## 5. Otros combustibles nucleares: Plutonio y torio

Pueden ser utilizados como combustible nuclear en los reactores plutonio y uranio 233 (proveniente del torio), pero ninguno de ellos existe naturalmente sino que se generan dentro de los reactores durante el funcionamiento normal. En virtud de que de una u otra forma ambos pueden conside-

rarse como sub-productos del uso del uranio, se describe el uso del plutonio como combustible nuclear y el del torio como generador del U233 que también es utilizable para tal fin.

## 5.1. El Plutonio como combustible nuclear

### 5.1.1. Situación

Los reactores de agua ligera (LWR), alimentados con uranio enriquecido son los que actualmente dominan el mercado internacional y se estima continuarán haciéndolo durante los próximos 15 años. Los combustibles irradiados descargados por estos reactores representan un problema que por ahora, por diversas causas, no ha encontrado una solución internacionalmente aceptada.

En líneas generales tres alternativas se presentan para la solución al problema planteado.

- Tratamiento de los combustibles irradiados (reproceso) previo al almacenamiento temporal de más o menos duración, en piscinas.
- Almacenamiento permanente de forma que el tratamiento posterior no sea posible.
- Almacenamiento permanente de forma que puedan ser tratados posteriormente.

La justificación energética y de eficiencia económica del reproceso (véase 4 ciclo del combustible nuclear) solo puede buscarse en la recuperación de los materiales fisionables, uranio no quemado y plutonio formado, presentes en los combustibles irradiados. Es probable que la utilización del plutonio recuperado, como material fisionable, será el apuntalamiento definitivo, desde un punto de vista energético y económico, de la energía nucleoelectrica. Si no se lleva a cabo su utilización para el fin propuesto, puede estimarse que en la primera década del siglo venidero no habrá uranio suficiente para atender las necesidades de potencia nuclear instalada. Si la utilización del plutonio en los reactores rápidos reproductores (FBR) llega a la práctica comercial (Francia actualmente construye el reactor Super Fenix, con miras a comercializarlo y otros países tienen ya prototipos funcionando), la humanidad podrá utilizar los reactores nucleares du-

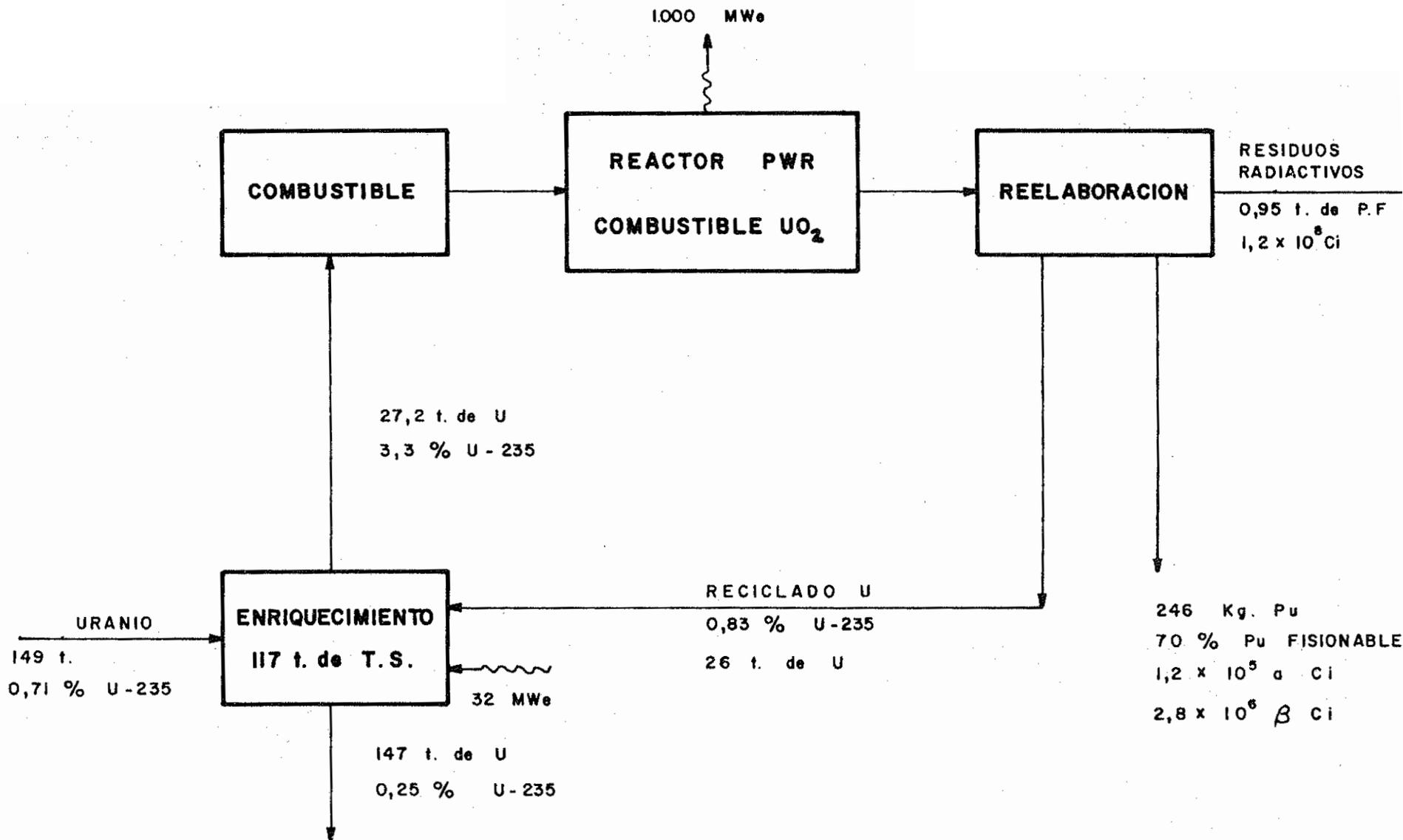


FIG.III.3. REACTOR (1.000 MWe) TIPO PWR. CICLO DEL COMBUSTIBLE (CANTIDADES ANUALES).

rante siglos y a la vez emplear el uranio empobrecido (0.25 % U235) que está siendo almacenado en gran cantidad en las plantas de enriquecimiento.

Como etapa intermedia se prevé el reciclado del plutonio en los reactores de agua ligera como sustituto parcial del U235. Sin embargo, esta aplicación a largo plazo, tendrá poca importancia global en el futuro de la energía nuclear.

En los países nuclearmente industrializados se admite bajo un punto de vista energético y económico que la utilización del plutonio como material fisiónable en los reactores nucleares es una solución energética favorable. El aumento de los precios del petróleo y su eventual escasez en el mercado internacional apoyará más su utilización.

Como dato comparativo cabe destacar que un gramo de plutonio fisiónable tiene una capacidad energética equivalente a entre 15 y 20 barriles de petróleo.

Una explicación detallada de la forma como se produce el plutonio se encuentra en el punto F del anexo 1 del presente trabajo.

### 5.1.2 Utilización del plutonio

El plutonio como se ha mencionado, es un sub-producto de una reacción nuclear en cadena que puede por sí mismo alimentar una reacción en cadena. Engendrado en los reactores a partir del U238, mientras se quema el U235, puede como este último fisionarse y servir como combustible nuclear.

En un principio el plutonio fue utilizado exclusivamente para usos militares. Este plutonio debía reunir unas ciertas características y se obtuvo en reactores llamado "Plutonígenos", cargados con uranio natural en forma metálica y con bajo grado de quemado, para que tuviese bajo contenido Pu240 que no es apto para las aplicaciones militares.

La creciente producción de plutonio en los reactores de potencia plantea el problema de su utilización para fines diferentes de los militares.

En líneas generales dos caminos se presentan como más factibles para su utilización:

a) utilización sin separación y b) utilización previa separación.

a) Utilización sin separación (in situ)

El plutonio presente en los combustibles irradiados procedentes de los reactores de potencia es solamente una fracción del que se produce durante el proceso de irradiación; la otra parte se quema en el mismo reactor. Este método de utilización tiene lugar en todos los tipos de reactores, bien sean térmicos o rápidos.

Esta es la forma más simple y económica de utilizar el plutonio. Los reactores donde la utilización in situ es mayor son los de uranio natural, refrigerados y moderados por agua pesada (tipo CANDU), donde aproximadamente el 50 % del plutonio formado se quema en el propio reactor. Tanto en los reactores de uranio natural refrigerados por gas y moderados por grafito, como en los de uranio ligeramente enriquecido y moderados por agua ligera, este valor es de aproximadamente de 30 a 35 %.

En el caso de los reactores de agua ligera y con alto grado de quemado se producen aproximadamente 0.9 gramos de plutonio (mezcla de todos sus isótopos) por cada gramo de U235 quemado, de los cuales aproximadamente el 50 % se fisiona.

No todo el plutonio formado se quema y produce energía. Una gran parte permanece en los combustibles irradiados de los reactores nucleares, lo que plantea el problema de su separación.

b) Utilización con separación previa

Refiriéndose exclusivamente a los combustibles irradiados en los reactores de agua ligera (LWR), que son los de más amplia utilización en el mundo, cabe plantearse las siguientes soluciones respecto a su disponibilidad o tratamiento:

1. Tratamiento del combustible irradiado, previo un corto período de enfriamiento, con reciclado del uranio recuperado y almacenado del plutonio para

su uso futuro.

2. Almacenamiento del combustible irradiado para posterior tratamiento y recuperación del uranio y plutonio.
3. Tratamiento inmediato del combustible irradiado, previo un corto período de enfriamiento, con reciclado, también inmediato, en los reactores LWR tanto del uranio como del plutonio recuperados.
4. Tratamiento inmediato del combustible irradiado, previo un corto período de enfriamiento, con reciclado o utilización posterior del uranio y plutonio recuperados según las necesidades futuras y aprobación de las medidas de seguridad sobre su utilización (reciclado en los reactores LWR y utilización en los reactores rápidos FBR).
5. Tratamiento inmediato del combustible irradiado, previo un cierto período de enfriamiento, con utilización del uranio recuperado y almacenamiento del plutonio para futuras aplicaciones pero no teniendo en cuenta su posible utilización como combustible en los reactores nucleares.
6. Almacenamiento del combustible irradiado sin tener en cuenta su tratamiento para la recuperación del uranio y del plutonio (política que actualmente sostiene Estados Unidos).

Hasta ahora la solución más aceptada ha sido la número 1, pero por diversas razones, fundamentalmente de tipo tecnológico, en este momento no existe ninguna planta comercial de reprocesamiento en funcionamiento. Es de hacer notar que el almacenamiento a largo plazo del plutonio representa una serie de dificultades como el costo de la instalación, el mantenimiento de la misma y medidas de seguridad (desde el punto de vista de salvaguardias, de protección física y de protección ambiental). También hay que tener en cuenta la composición isotópica del plutonio almacenado, pues la desintegración del Pu241 de 13

años de vida media, por emisión  $\beta$ , produce Am<sub>241</sub> que es un emisor  $\alpha$  de vida media más larga (430 años) y con alta sección eficaz de captura neutrónica y baja sección eficaz de fisión para neutrones lentos. Estas características hacen del americio un acompañante indeseable para el plutonio en su empleo como combustible nuclear, por lo que es necesario eliminarlo antes de usar el plutonio en los reactores.

La necesidad de separar el americio depende del tiempo de almacenamiento del plutonio, pero definitivamente se puede asegurar que el almacenamiento más o menos largo del plutonio recuperado presenta serios inconvenientes, que solo actualmente pueden ser solventados con su utilización inmediata.

La solución número 2 es la que por condiciones de la situación actual del tratamiento de combustibles irradiados se está empleando, para ello se está aumentando la capacidad de almacenamiento de los combustibles irradiados en las propias centrales nucleares y se tienen proyectos para almacenamientos centralizados.

La tercera solución (si pudiese llevarse a cabo) parece la más deseable en el momento actual y supone que en cada reactor se recicle el plutonio producido por el mismo. Si esto se llevase a cabo supondría un ahorro en cada reactor tipo LWR de aproximadamente 17 al 22 % de uranio natural y de 20 a 23 % de unidades de trabajo separativo en las plantas de enriquecimiento. Esta alternativa es la que se ha propuesto en el informe GESMO (The Generic Environmental Statement on the use of Recycled Plutonium in Mixed Oxide Fuel in LWR'S) que estuvo en estudio hasta septiembre de 1977 en Estados Unidos.

La cuarta solución (si pudiese llevarse a cabo) resultaría también aceptable, pero viene supeditada a la entrada en fase comercial de los reactores rápidos. Dado que las propiedades nucleares del plutonio son más favorables que las de U<sub>235</sub> en el espectro de neutrones rápidos, se podría reservar para su empleo en reactores rápidos. Si se elige esta solución, sería necesario almacenar parte del plutonio durante varios años hasta que se comercialicen estos reactores.

Comparando el valor del plutonio, que será usado en los reactores rápidos, con el costo del almacenamiento bajo el punto de vista

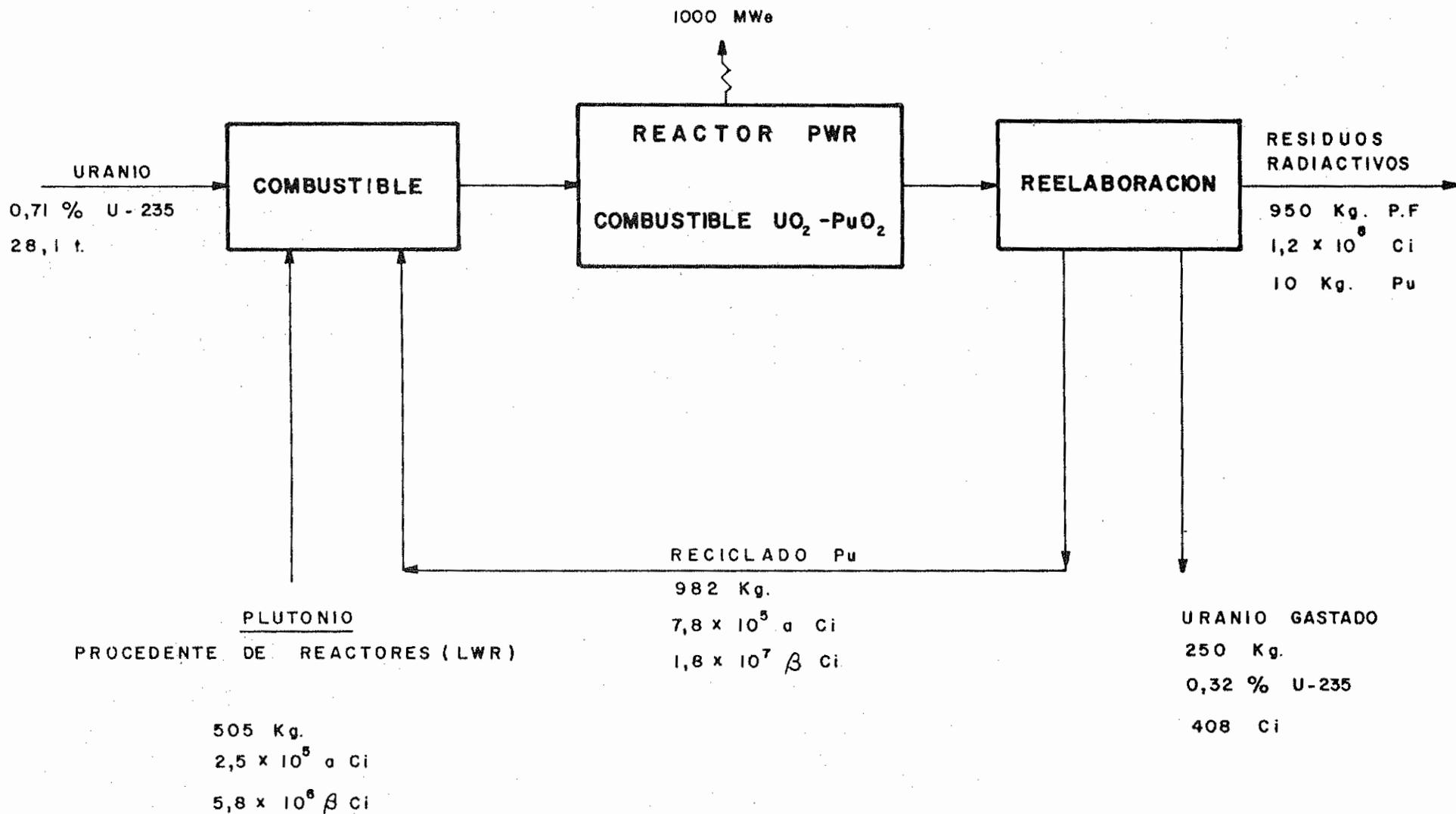


FIG-III.4. REACTOR (1.000 MWe) TIPO PWR. CICLO DEL COMBUSTIBLE CON RECICLADO DE PLUTONIO (CANTIDADES ANUALES)

económico, en función de diversas variables. Los estudios realizados demuestran aconsejable no utilizar períodos de almacenamiento superiores a 30 años, por tanto no está económicamente justificado el almacenar plutonio durante la década de los 70 y comienzos de los 80.

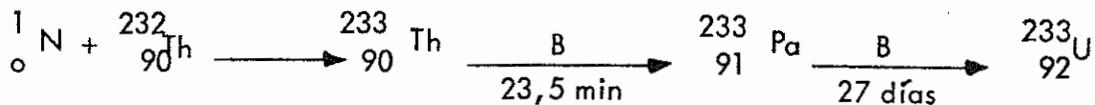
Por lo que respecta a la quinta posibilidad, el plutonio podría ser vendido a un precio que sería determinado en función de la oferta y la demanda y sería usado de acuerdo con los métodos económicos más adecuados.

El concepto del precio del plutonio es diferente del valor del plutonio. El precio del mercado depende de la oferta y de la demanda. La demanda depende de unas aplicaciones comerciales definidas, que sirven de base para determinar el valor del plutonio.

## 5.2 El caso del torio

El torio es un elemento existente en la naturaleza, no es fácilmente fisionable, pero a partir de él es posible obtener uranio 233, isótopo éste de magníficas características como combustible nuclear.

El uranio 233 se produce a partir del torio según la siguiente cadena de reacciones:

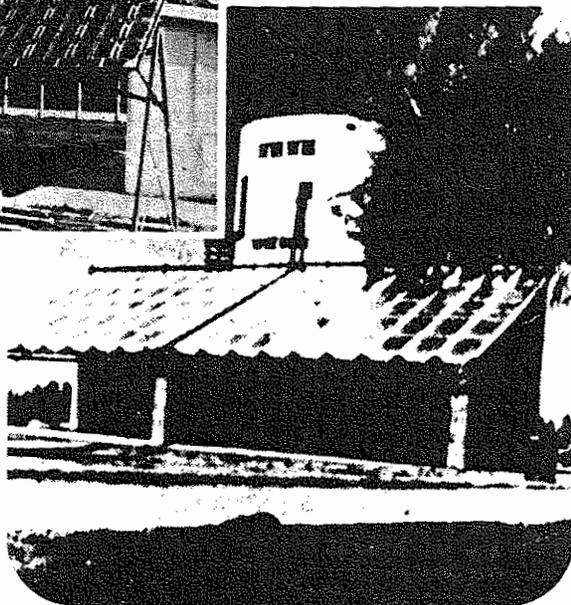
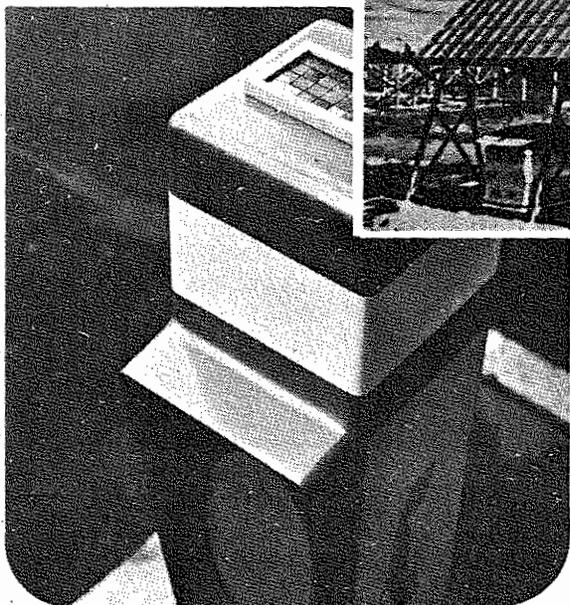
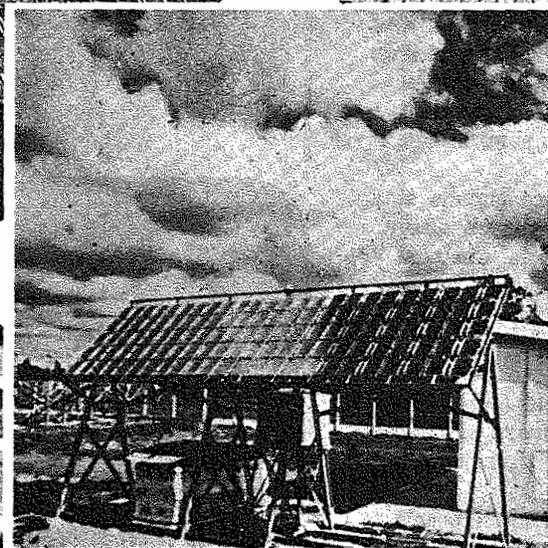
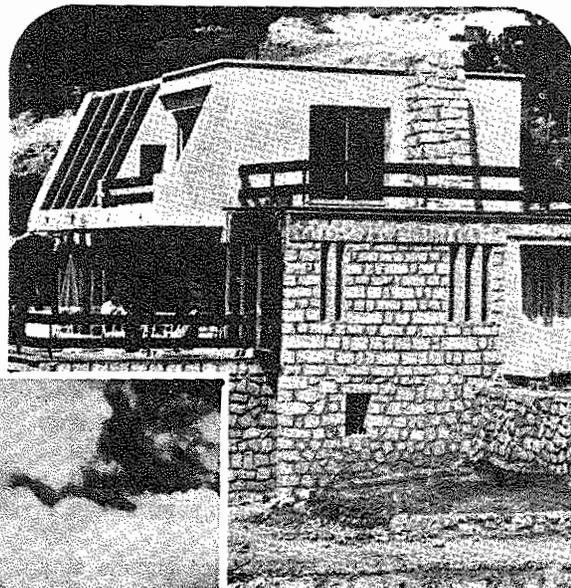
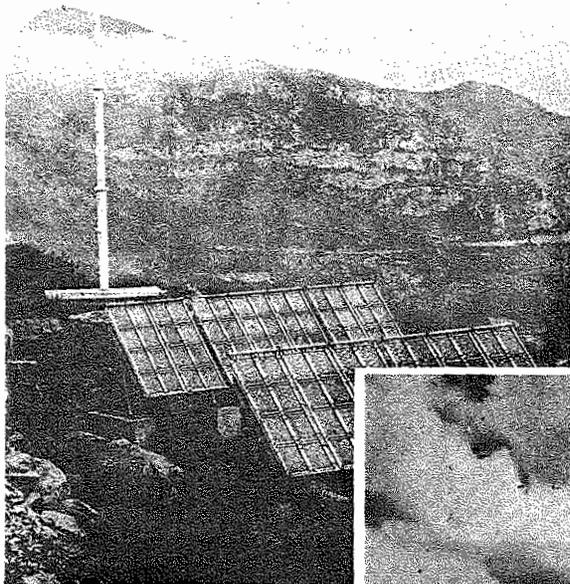


Aunque la tecnología que involucra el uso del torio se encuentra en su fase experimental, puede que mediano plazo cobre importancia. Actualmente se desarrollan en diversos países reactores del tipo llamado "Convertidores" entre los que cabe destacar los denominados HTGR (High Temperature Gas Cooled Reactor) que son refrigerados por hielo y pueden alcanzar altas temperaturas (hasta 600° C), lo cual les da un alto rendimiento. En dichos reactores se coloca una capa de torio alrededor del núcleo de uranio enriquecido, la cual después de cierto tiempo de operación es extraída para sacar de ella el uranio 233 formado. Posteriormente este uranio puede ser utilizado para la elaboración de elementos combustibles. También se estudia asimismo el uso del torio en los reactores de agua pesada tipo CANDU (Canadian Deuterium-Uranium) como alternativa futura para satisfacer los déficits eventuales de uranio.

Se estima que la comercialización del ciclo del torio tardará algunos años pero se considera necesario tomar en cuenta los recursos potenciales nacionales de este mineral en virtud de la importancia que jugarán en el futuro. Es importante que Venezuela tome sus primeros pasos en el conocimiento de la tecnología del torio en relación a su exploración, explotación y uso en reactores para que puedan tomarse decisiones y acciones con propiedad.

# Colombia

## La Utilización de la Energía Solar



## H. RODRIGUEZ M.

\* Grupo de Energía Solar del  
Departamento de Física de la  
Universidad Nacional:

señores Fis. Julio C. González, M. Sc. Gerardo Gordillo, Fis. Hildebrando Leal, Fis. Fabio Fonzález, Fis. Dimo García y Fis. Carlos Augusto Hernández.

### COLOMBIA: THE UTILIZATION OF SOLAR ENERGY

This study over solar energy and its technical utilization informs over the developments reached by the research group of the Physical Department of the National University of Colombia in the application of this energy source for some thermic processes, like water heating for domestic use and destilation.

Likewise, shows the work developed in the basic instrumentation for the measuring of the solar radiation and the valuation and use of this data. It concludes with the description of the main activities for the next years.

Informe presentado en el "1er. Simposio sobre Energía Solar y sus Aplicaciones en Colombia", Mayo 18 al 20 de 1978, Bogotá.

## RESUMEN

Se informa sobre los desarrollos logrados por nuestro grupo de investigación en la aplicación de la energía solar para algunos procesos térmicos como calentamiento de agua para uso doméstico y destilación. Además, se muestra el trabajo desarrollado en la instrumentación básica para la medición de la radiación solar y en la evaluación y empleo de estos datos. Se concluye con una descripción de las actividades centrales en los próximos años.

## CONTENIDO

### Introducción

1. Colectores Solares planos
2. Sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico
3. Destiladores de agua
4. Piranómetros
5. Análisis de datos de la radiación solar
6. Trabajo futuro
7. Figuras

### Introducción

Desde la pasada crisis energética mundial de octubre de 1973, el interés por las fuentes de energía diferentes de los combustibles fósiles ha aumentado notablemente. Una de esas fuentes de energía es la energía Solar. El sol emite energía continuamente pero su utilización técnica no es necesariamente simple y carente de problemas, ya que:

1. la densidad de energía sobre la superficie de la tierra es pequeña (ca  $1 \text{ kWm}^{-2}$ ) comparada con la suministrada por otras fuentes de energía
2. la energía solar utilizable en una localidad dada varía durante el año debido al movimiento de la tierra alrededor del sol y además depende de las variaciones meteorológicas, las cuales están fuera del control del hombre.

Por otro lado la energía solar tiene la ventaja de ser inagotable, gratis y no poluyente, aunque su utilización extensiva pueda tener alguna influencia sobre el clima.

Una utilización óptima de la energía solar incluye simultáneamente un empleo altamente eficiente desde el punto de vista físico y también un costo aceptable de su utilización. Esto significa un esfuerzo en mejorar los equipos que utilicen energía solar considerando el impacto que estas mejoras puedan tener en los costos.

El objeto de la presente comunicación es el de informar acerca de las actividades y logros alcanzados por el Grupo de Energía Solar del Departamento de Física de la Universidad Nacional desde marzo de 1977 (fecha de su formación) hasta la actualidad, así como también, mostrar brevemente algunas

líneas de trabajo en los próximos años.

### 1.1.1. Colectores Solares planos

Para procesos térmicos a temperaturas del orden de los 100° C, los colectores solares planos constituyen el método más simple y efectivo de utilización de la energía solar. La Fig. 1 muestra esquemáticamente un colector solar plano. Esencialmente está constituido por un absorbedor en donde la radiación solar se transforma en calor.

Con el fin de transmitir el calor del colector al acumulador se emplea un fluido, ya sea líquido o gaseoso. Para reducir las pérdidas térmicas se suele encerrar el absorbedor en una caja aislada térmicamente. La cara expuesta a la radiación se cubre con un material transparente, ya sea vidrio o plástico, lográndose de esta manera un retardo de las pérdidas por convección. Si además el material es opaco a la radiación infrarroja emitida por la superficie absorbidora se logra entonces un aumento de la temperatura de trabajo del colector. La Fig. 2 muestra el flujo de energía típico en un colector solar.

La potencia  $Q_g$  que se puede extraer de un colector solar está dada por

$$Q_g = Q_a - Q_p \quad (1)$$

en donde  $Q_a$  es la potencia absorbida y  $Q_p$  representa las pérdidas.

$Q_a$  está dada por

$$Q_a = A \cdot S \cdot \tau \cdot \alpha \quad (2)$$

en donde  $A$  es el área efectiva del colector,  $S$  la irradiación total incidente,  $\tau$  la transmitancia de las cubiertas transparentes y  $\alpha$  la absortancia del absorbedor.

$Q_p$  se puede expresar como

$$Q_p = U_p \cdot (T_c - T_a) \cdot A \quad (3)$$

en donde  $U_p$  representa las pérdidas del colector por unidad de área por  $K$ ,  $T_c$  temperatura media del colector y  $T_a$  la temperatura ambiente.

La eficiencia está dada entonces como

$$\eta = \frac{Q_g}{AS} = \frac{\tau \cdot \alpha \cdot S \cdot (T_c - T_a)}{S \cdot U_p} \quad (4)$$

La Fig. 3 muestra la eficiencia de un colector que emplea agua como fluido de transferencia, asumiendo que  $U_p$  es constante. La Fig. 4 muestra las curvas de eficiencia para varios colectores con diferentes números de placas

de vidrio, con diferentes absorbedores y el quinto además con vacío para reducir las pérdidas por convección.

En esta figura se observa la necesidad de usar absorbedores selectivos cuando se quieren lograr temperaturas más altas que las logradas con los absorbedores negros comunes. Colectores planos con tales absorbedores selectivos son indispensables si estos se quieren emplear en sistemas tales como equipos de aire acondicionado por absorción.

El Grupo de Energía Solar del Departamento de Física de la Universidad Nacional ha desarrollado colectores de los tipos 1 y 2 y el prototipo No. 5 se encuentra entre los tipos 2 y 4. La fotografía 5 muestra este prototipo.

### 2. Sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico

La utilización más inmediata de la energía solar es el calentamiento de agua para el uso doméstico. En este caso el sistema se compone de los colectores y del acumulador de calor. El caso más común es que se emplee el agua que va al consumidor tanto como fluido para transferir el calor del colector al acumulador como acumulador de calor sensible. Con el fin de reducir costos del sistema, se suele emplear el sistema de termosifón (Fig. 6) en el cual el agua circula por el colector gracias a la diferencia de presiones que se tiene en la parte más baja del colector como efecto de la diferencia de densidades del agua en las dos columnas producida por el calentamiento del agua en la columna que pasa por el colector. Con el fin de utilizar este efecto es necesario que la parte inferior del tanque de agua esté colocado por encima de la parte superior de los colectores.

En la Universidad Nacional hemos desarrollado varios sistemas, de los cuales el sistema No. 5 se muestra en la Fig. 7. Características de este sistema son:

Tanque:	Capacidad	200 litros
	Aislamiento:	PU, espesor 3 cm
	Resistencia eléctrica:	1.2 kW
	Tanque puede ser sometido a presión de la red del acueducto.	
Colectores:	Área efectiva	1.4 m <sup>2</sup>
	Tubería	cobre
	Dimensiones	0.83 m x 1.83 m x 0.06 m
	2 láminas de vidrio	

La resistencia eléctrica auxiliar tiene por objeto asegurar un suministro permanente de agua

caliente. Claramente el sistema total es presurizado.

### 3. Destiladores de agua

El Grupo de Energía Solar ha fabricado destiladores del sistema tradicional con un rendimiento máximo en Bogotá de  $4 \text{ lts. m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ .

Estos destiladores están concebidos para el montaje modular (Fig. 8) y tienen un área de ca  $1.2 \text{ m}^2$ .

### 4. Piranómetros

Dentro de la instrumentación básica desarrollada hasta ahora por nuestro grupo está el piranómetro de termopila. Este instrumento está basado en la medición de la diferencia de temperaturas entre superficies negras y blancas. Mide la radiación total (directa mas difusa) hemisférica y está calibrado debidamente para dar una indicación de la energía por unidad de área y unidad de tiempo (Fig. 9)

La sensibilidad de este instrumento es de ca de  $5 \text{ micro-voltios. W}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Otro piranómetro construido por nosotros es de tipo Yellett, que tiene como elemento sensible una celda de Si monocristalina. Su respuesta es de  $1 \text{ mA.W}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ , con una área activa de  $4 \text{ cm}^2$  (Fig. 10).

### 5. Análisis de datos de la radiación solar

Debido a la importancia que tiene para la utilización de la energía solar el análisis de los datos acerca de la cantidad, distribución y calidad de la radiación solar, se han desarrollado programas de computador que, basados en relaciones semiempíricas, permiten calcular el promedio de la radiación solar total diaria a partir de datos tales como radiación solar extraterrestre, duración de las horas de brillo solar diaria, humedad relativa y temperatura máxima. Estas fórmulas semiempíricas necesitan ser intensamente estudiadas con el fin de determinar su confiabilidad lo cual hace indispensable la utilización de instrumentos convenientes y de una recolección de datos tanto meteorológicos como de radiación solar durante varios años.

### 6. Trabajo Futuro

El Grupo de Energía Solar tiene para los próximos años las siguientes tareas:

Utilización de la Energía Solar para procesos térmicos

1. Desarrollar películas selectivas para absorbedores solares. Se utilizarán los siguientes métodos de deposición: deposición electroquímica, deposición al vacío y deposición por pulverización. Como instrumentación básica para determinar las propiedades ópticas de absorción y de emitancia de los absorbedores se está construyendo un sistema calorimétrico al vacío.

La meta es la utilización de colectores solares para sistemas de refrigeración por absorción.

2. Se montará a finales del año un banco de prueba de colectores solares con el fin de determinar la eficiencia de los mismos. El equipo básico para ello ya fue adquirido: dos piranómetros blanco y negro, dos piranómetros espectrales y un pirheliómetro de incidencia normal.

3. Se desarrollará el análisis de sistemas de utilización de la energía solar haciendo especial énfasis en la optimización equipo solar-consumidor. Para ello es necesario la introducción de datos acerca de la radiación solar, características físicas y costos del sistema.

4. Se investigará el uso de acumuladores de calor latente, sus propiedades físico-químicas y su interacción e influencia en los sistemas solares.

Utilización de la Energía Solar para la generación directa de Electricidad.

La tecnología de las películas delgadas se ha desarrollado en nuestro instituto desde comienzos de esta década. Debido a que de las celdas que pueden desarrollarse y fabricarse en Colombia solo tienen opción actualmente las que se pueden hacer mediante la tecnología de las películas delgadas, se está montando en la actualidad un sistema de evaporación de Cds y se dispone de otras dos cámaras para la evaporación del contacto inferior. Paso posterior a las instalaciones experimentales que estamos construyendo, sería el montaje de una planta piloto con una producción de  $5 \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$ , para lo cual se hace necesario el apoyo financiero directo del gobierno.

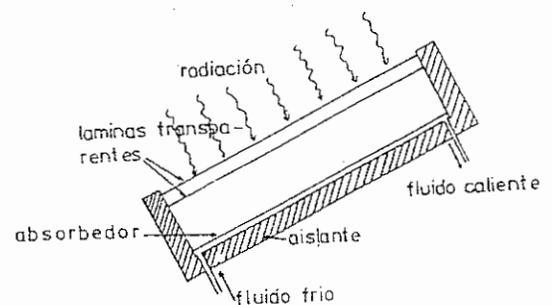


FIG. No. 1  
ESQUEMA DE UN COLECTOR SOLAR PLANO

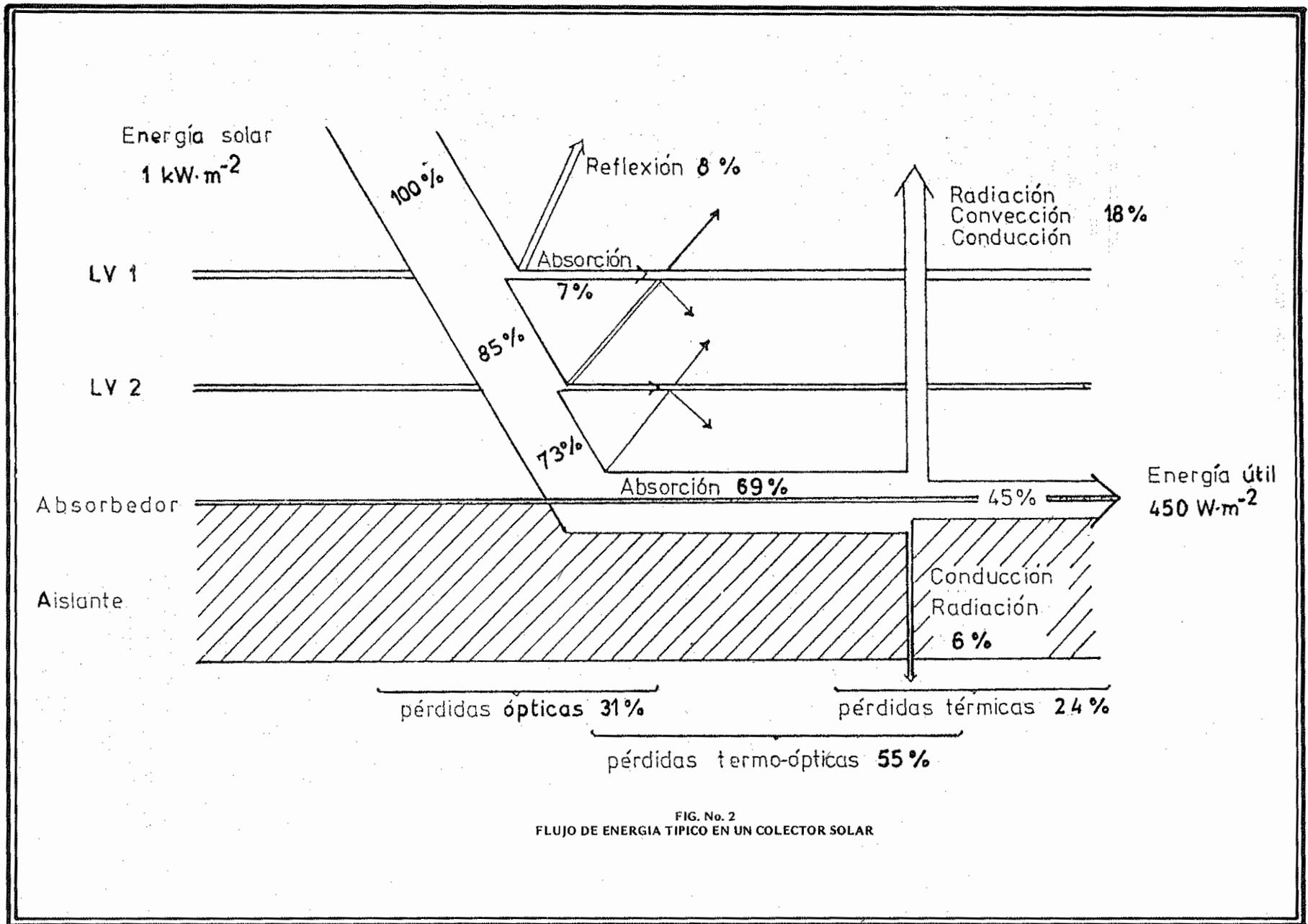
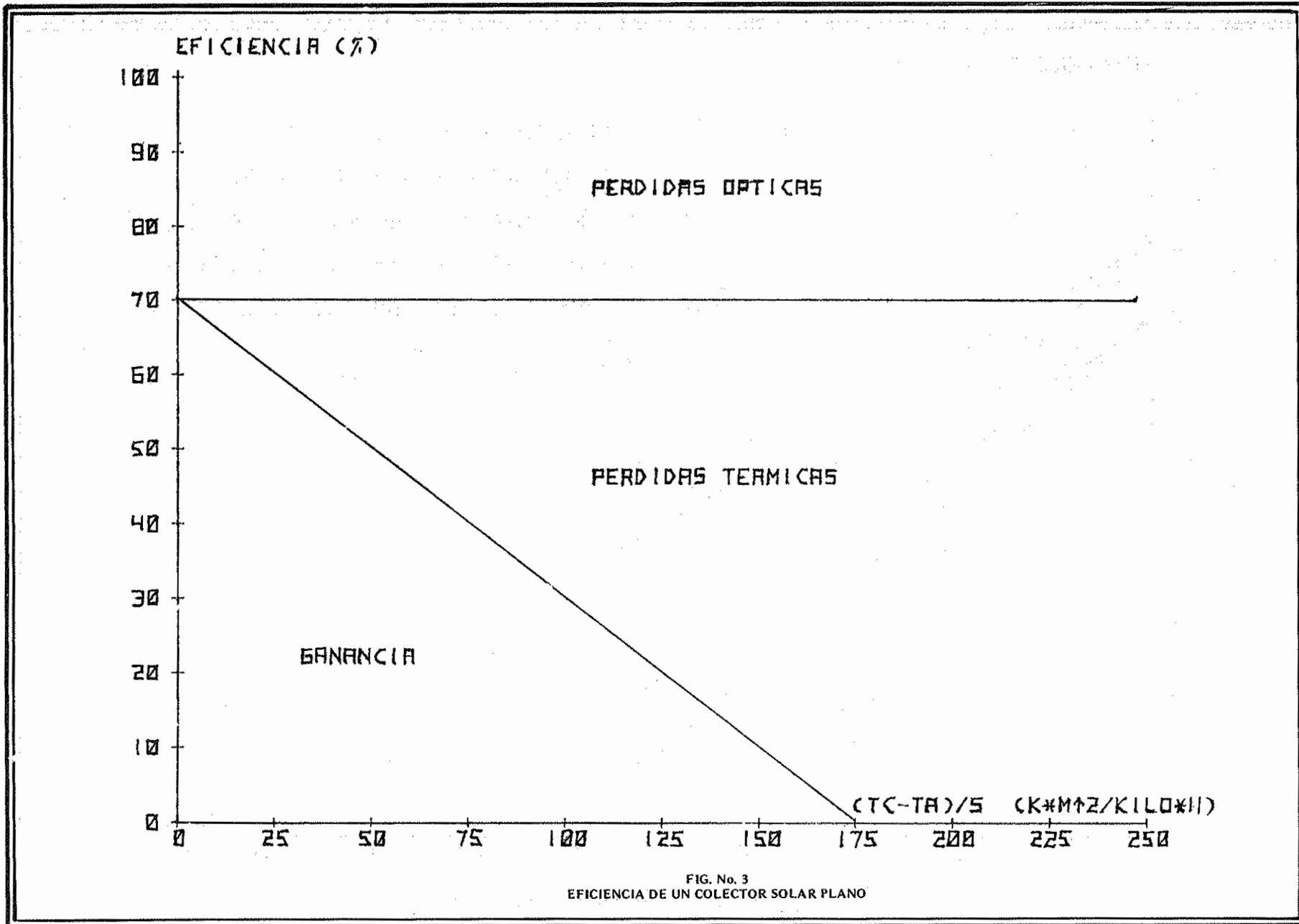


FIG. No. 2  
FLUJO DE ENERGÍA TÍPICO EN UN COLECTOR SOLAR



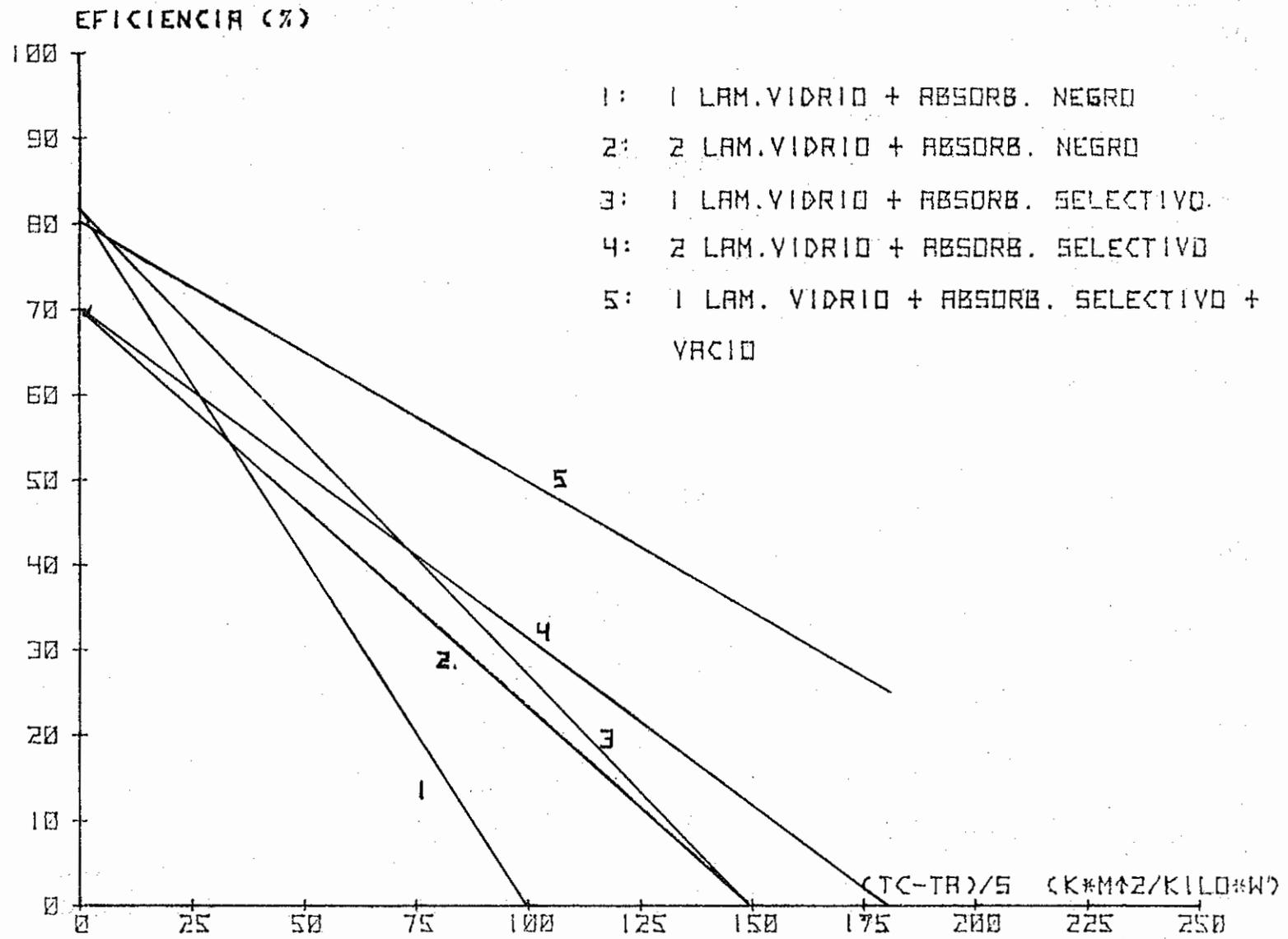
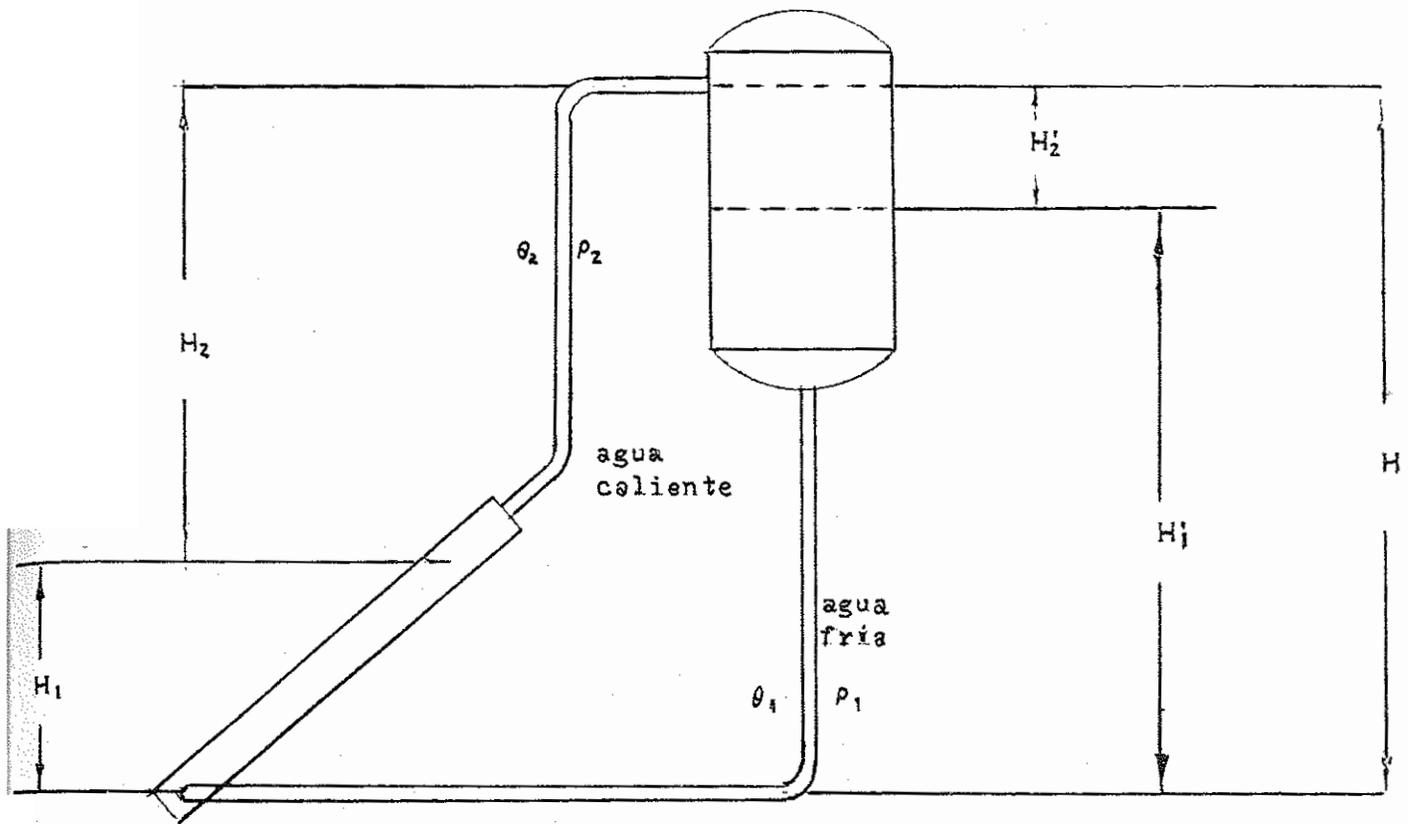


FIG. No. 4  
CURVAS DE EFICIENCIA PARA VARIOS COLECTORES



Sistema de calentamiento de agua para uso doméstico. Circulación por termosifón

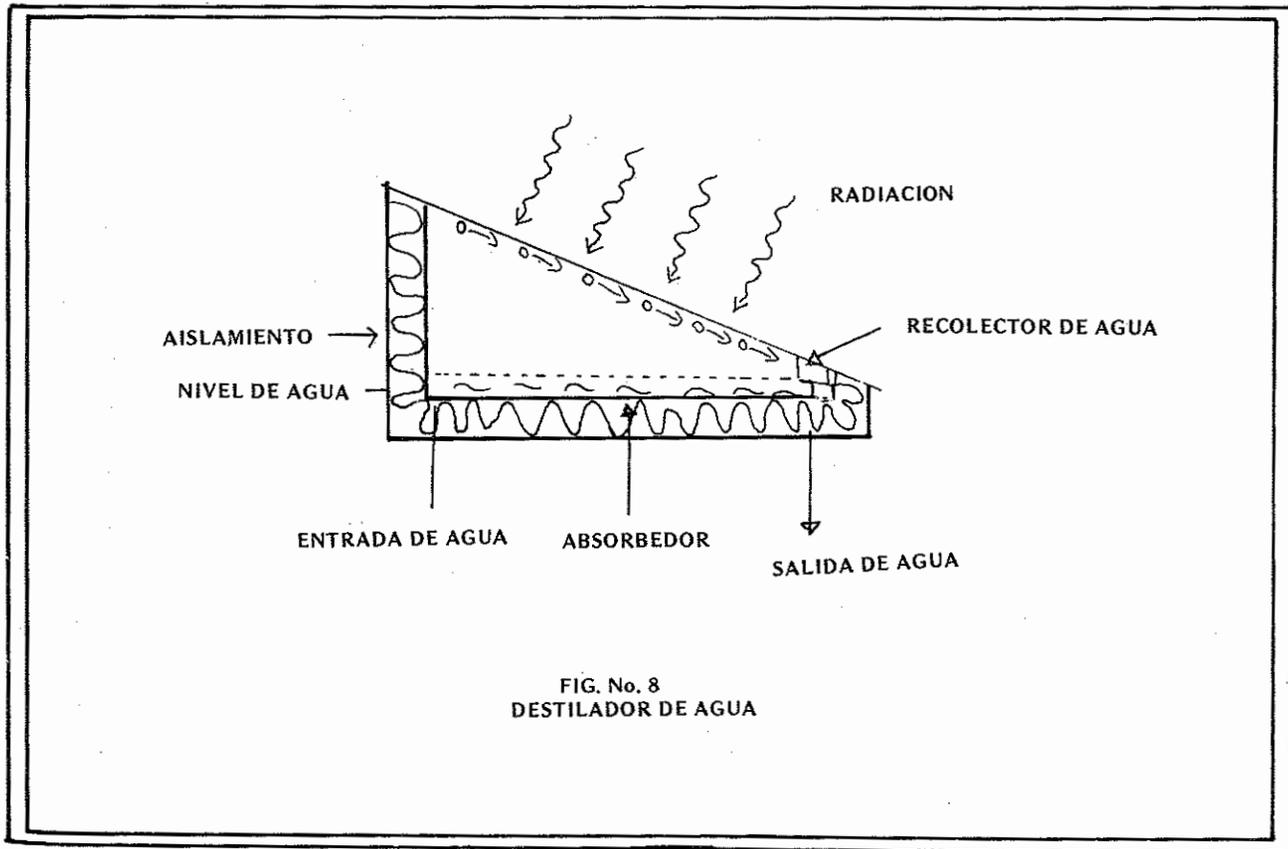
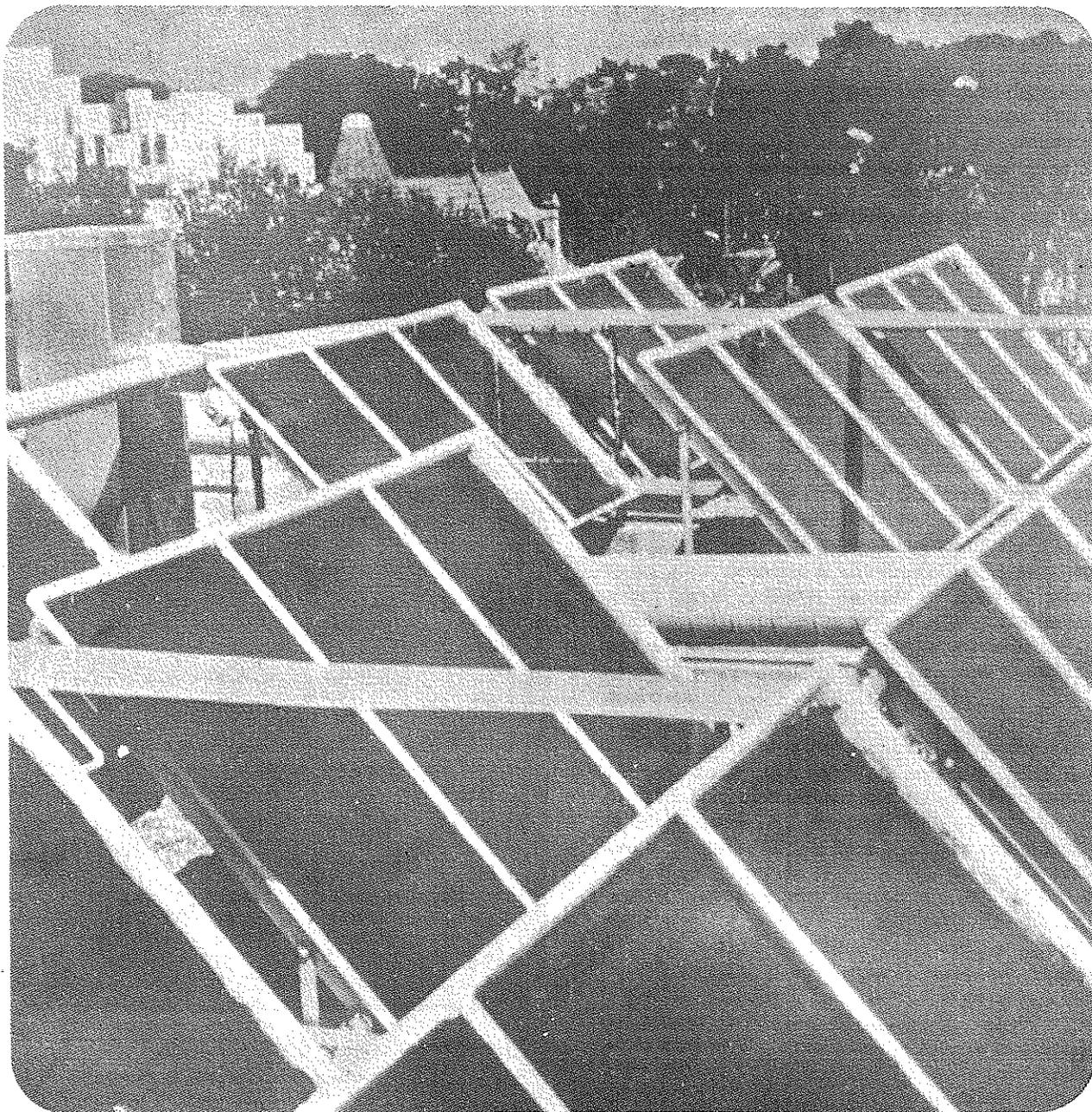


FIG. No. 8  
DESTILADOR DE AGUA

# México

## Aplicaciones a Baja Temperatura de la Energía Solar



GUSTAVO BEST BROWN \*  
JOSE LUIS FERNANDEZ ZAYAS \*\*

MEXICO: APPLICATIONS AT LOW  
TEMPERATURE OF THE SOLAR ENERGY

The growing demand of low temperature solar systems has given as a result a great research activity and technical development in many Universities, polytechnics and research centers of Mexico. In the Research Center of Materials and in the Engineering Institute of the Autonomous National University of Mexico (UNAM) studies are being performed on this new energy source since a few years ago. Part of this work is related to the activities developed in the knowledge of flat plate collectors, for domestic use, over economic feasibility of the solar heating; selective surfaces; refrigeration and air conditioning solar and the solar sun-dried of grains.

\* Centro de Investigación de Materiales, UNAM.  
\*\* Instituto de Ingeniería, UNAM.

La energía solar ha sido especialmente útil al hombre como forma alternativa de energía térmica para efectuar un proceso, en situaciones donde las temperaturas no suelen exceder 100°C. Ejemplos de aplicaciones son los calentadores solares de agua para uso doméstico, los refrigeradores operados por la energía del Sol, los secadores de granos y de productos industriales y los sistemas de acondicionamiento ambiental. La característica común de estos sistemas es que los aparatos usados para atrapar la energía del Sol, llamados captadores o colectores solares, son planos y tienen una posición invariante.

La creciente demanda de sistemas solares de baja temperatura ha dado por resultado una gran actividad de investigación y de desarrollo tecnológico en muchas universidades, politécnicos y centros de investigación de nuestro país. En el Centro de Investigación de Materiales y en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se iniciaron los estudios de esta nueva fuente energética hace ya varios años, pero varias otras dependencias muestran ahora gran interés en el tema. Con el propósito de proporcionar al lector un panorama del estado de entendimiento del tema, así como de la actividad de investigación del país, se han seleccionado algunos trabajos relevantes que se exponen.

#### LOS CAPTADORES SOLARES PLANOS

La energía radiante proveniente del Sol puede transformarse en energía térmica si se le hace incidir sobre una superficie capaz de absorber parte de ella. A mayor capacidad de absorción, o absorptividad, la transformación será más efectiva. De este modo, la superficie aumentará su temperatura en función de la cantidad de calor atrapado. Conforme la temperatura aumenta, la superficie empezará a perder calor por conducción, por convección al medio que la rodea y por radiación al ambiente. La capacidad para emitir calor radiante, llamada emisividad, puede inhibirse para que esa superficie alcance temperaturas más elevadas. A superficies cuya emisividad no es igual a su absorptividad se las llama superficies selectivas.

El calor atrapado por la superficie puede transferirse a un líquido o a un gas para calentarlos. Así, se puede calentar agua para uso doméstico empleando la misma fuerza de flotación del agua caliente con respecto al agua fría para hacerla circular por la superficie citada; también se puede calentar aire movido por un ventilador para efectuar procesos de secado de granos, e incluso pueden calentarse líquidos con propiedades especiales para accionar sistemas de refrigeración, plantas generadoras de electricidad y bombas para riego. La construcción de un captador solar plano consta también de una caja para evitar que el viento enfríe la superficie que absorbe la radiación solar. Esta caja tiene una tapa o cubierta transparente de plástico o vidrio, que forma el efecto de "inverna-

dero" al impedir la rerradiación de la superficie de calentamiento. Un captador plano típico se ilustra en la figura 1.

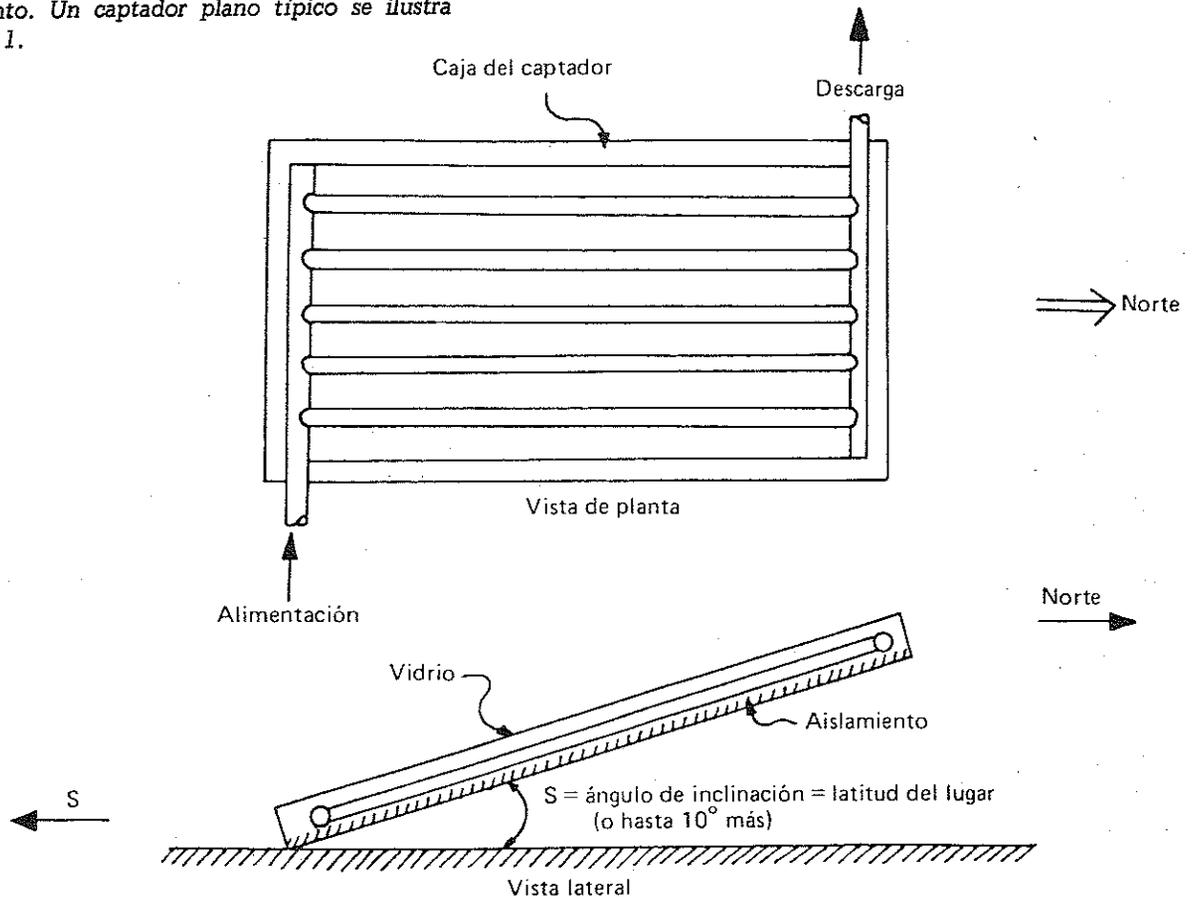


Figura 1. Esquema de un captador solar plano típico.

## CALENTADORES SOLARES PARA USO DOMESTICO

La producción comercial de calentadores solares para agua de uso doméstico (CSAD) se inició en Guadalajara en 1942, y hacia finales de 1977 ya había más de 6.000 unidades instaladas y funcionando. Hay en el país no menos de 20 fabricantes registrados que abastecen un mercado rápidamente en crecimiento.

El calentador solar típico tiene una capacidad de 200 litros, suficiente para cinco personas, y tiene un precio promedio de \$ 8.600. La construcción más común de un CSAD con circulación por convección natural se muestra en el aparato de laboratorio de la figura 2, con un captador de aproximadamente 1 m de base por 2 m de largo. Este aparato puede producir el calentamiento de 100 litros de agua cada día, desde unos 15° C hasta unos 40° C como mínimo, por cada metro cuadrado de superficie del captador.

Los dos objetivos del proyecto de investigación que actualmente se lleva a cabo son: mejorar la eficiencia del CSAD con el fin de abatir el costo y el espacio utilizado y reducir las dimensiones generales del conjunto, reduciendo su exposición al viento y

mejorándolo estéticamente.

Para reducir la altura global del sistema se ensaya la "inversión" de la geometría del captador, haciéndolo de 2 m de ancho por 1 m de largo, como se muestra en la figura 3. La altura máxima del sistema se abate, así, de 2.00 m a 0.75 m, reduciéndose el área expuesta al viento. La limitante más importante de este diseño es la capacidad de estratificación del agua en el tanque, indispensable tanto para hacer que el agua circule sin necesidad de una bomba como para poder extraer agua caliente del tanque sin que se mezcle con el líquido frío de alimentación al sistema. Esta estratificación se estudia en tanques transparentes como el ilustrado en la figura 4.

Las propiedades de absorción y de emisión de energía radiante de la superficie del captador son importantes, como se menciona en la sección de superficies selectivas. Además de esos trabajos de investigación, se ensayan continuamente acabados comerciales (pinturas) en pruebas comparativas de absorción y emitancia. Se tiene así un conocimiento actualizado de los acabados disponibles comercialmente en el mercado mexicano (figura 5).

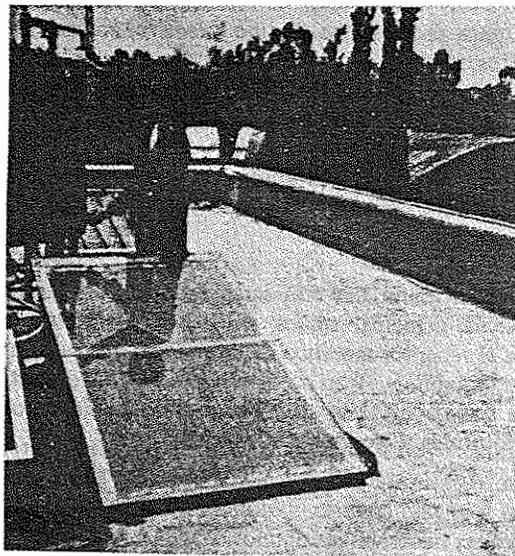


Figura 2. Calentador solar de agua por circulación de termosifón. El tanque térmico de almacenamiento se localiza en la parte superior izquierda de la figura. El tanque tiene una capacidad de 200 litros y el captador tiene 2 m<sup>2</sup> de área efectiva.

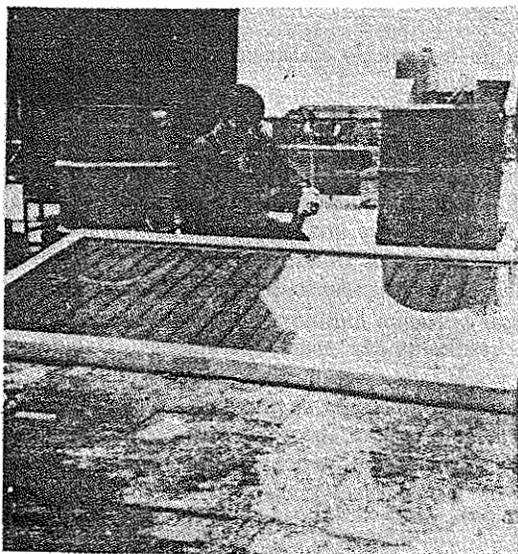


Figura 3. Captador solar plano para bajas temperaturas, donde la geometría se ha invertido respecto de la disposición del captador de la figura anterior.

### FACTIBILIDAD ECONOMICA DEL CALENTAMIENTO SOLAR

Aunque se ha demostrado repetidamente la factibilidad técnica del calentamiento solar de agua, así como de aire para usos industriales y para calefacción, son consideraciones de indole económica las que gobiernan la decisión de adoptarlo o rechazarlo. Dadas sus características técnicas y su alto costo inicial, las comparaciones económicas suelen hacerse entre el costo inicial del sistema solar y el del combustible, más el mantenimiento de un sistema convencional.

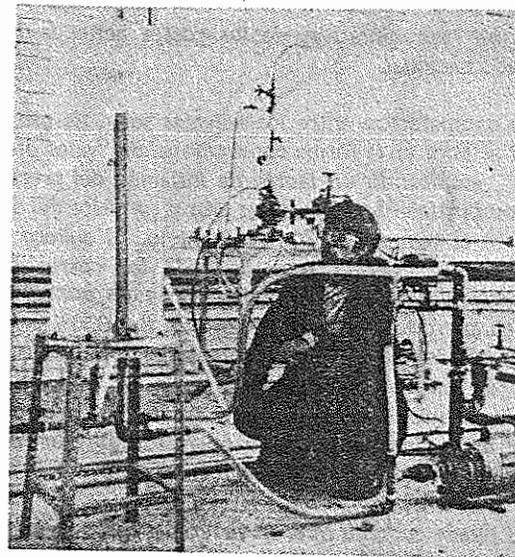


Figura 4. El tanque transparente de la figura permite estudiar la estratificación del agua en tanques térmicos. Variando el gasto de la bomba se simula el flujo real en un calentador solar.

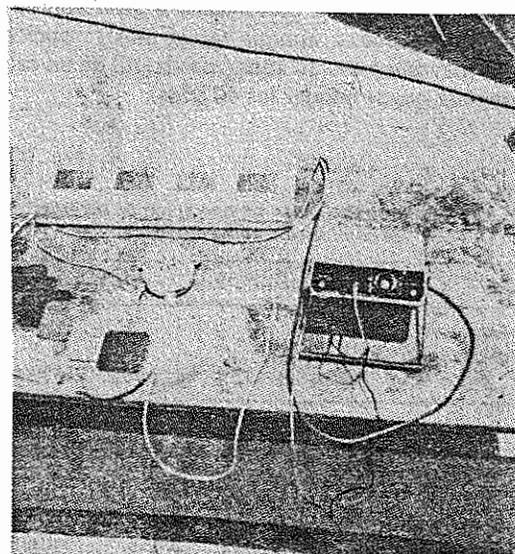


Figura 5. La caja blanca con compartimientos de la parte superior izquierda permite probar cuatro muestras a la vez. Estas muestras se presentan como se advierte en la parte central izquierda de la fotografía. Los instrumentos de medición se pueden apreciar en la misma ilustración.

Con los costos actuales del diesel (650 pesos/m<sup>3</sup>) y del gas LP (2.20 pesos/kg), se calcula el costo de kW-h térmico en 8 centavos para el diesel y en 18 centavos para el gas LP. Dado que el servicio mínimo que se espera de un calentador solar de agua es de 40°C, en 200 litros de capacidad cada día (aprox. 6 kW-h/día), entonces debe compararse el costo inicial de un calentador solar, de unos \$8.600, con el costo del combustible anterior más el de mantenimiento, que se ha calculado en \$3.320 por año en un calentador de diesel y en \$770/año en calentadores de gas. Estas cifras no son aplicables a todos los casos, pero pa-

recen ser representativas de los costos actuales del mercado nacional.

La comparación entre los sistemas solar, de gas y diesel se hace en la forma convencional de "valor presente", empleando un factor de inflación del precio del combustible de 10 % por año y un valor del dinero en el tiempo de 20 % por año. El cuadro 1 muestra los "valores presentes" de los costos de operación de los sistemas de diesel y de gas, comparables en periodos de pago de 2, 4, 6, 8, 10, 15 y 20 años, con los \$8.600 de un calentador solar. La eficacia de un sistema diesel no suele ser inferior a 75 %, mientras que se ha encontrado que un calentador de gas de depósito, de operación automática, suele tener eficacia de 40 % o menores.

Se puede concluir que, en virtud del costo de mantenimiento, la opción del sistema de gas es mejor que la de diesel. Además, un calentador solar se paga a sí mismo en no menos de ocho años, comparado con el de gas. Esto es, las condiciones económicas por sí mismas no justifican a corto plazo la selección de los calentadores solares, aunque sea la mejor opción a plazos mayores a 8 o 10 años (la vida útil de un calentador solar puede rebasar los 40 años).

CUADRO 1

Valor presente del costo de operación de sistemas de combustión convencionales

n (años)	Factor de valor pre- sente	Diesel		Gas		
		$\eta = 100\%$	$\eta = 75\%$	$\eta = 100\%$	$\eta = 75\%$	$\eta = 40\%$
2	1.5972	5 579	5 672	1 853	2 060	2 787
4	2.9393	10 267	10 437	3 410	3 792	5 129
6	4.0671	14 206	14 442	4 718	5 247	7 097
8	5.0147	17 516	17 807	5 817	6 469	8 751
10	5.8109	20 297	20 635	6 741	7 496	10 140
15	7.2887	25 459	25 882	8 455	9 402	12 719
20	8.2452	28 800	29 279	8 564	10 636	14 388

Por otro lado, las consideraciones técnicas, termodinámicas, ecológicas y de interés general por el ahorro energético favorecen la creciente implantación de estos calentadores. Es de esperar que la actualización del precio de los combustibles, junto con la depuración de los diseños solares, den por resultado la aceptación creciente de los calentadores solares de agua, ya que en otras partes del mundo han sido los primeros sistemas de utilización de la energía solar que han ganado la preferencia de la sociedad.

### SUPERFICIES SELECTIVAS

La eficiencia de los captadores solares depende, entre otros parámetros, de las propiedades ópticas de la placa o tubo absorbedor de la radiación solar. Por lo tanto, es deseable que la superficie de absor-

ción tenga propiedades de tipo selectivo, consistentes en altos valores de absorptividad en el rango visible (0.3 - 3u) y baja emisividad en el infrarrojo. Uno de los medios de lograr este tipo de selectividad es recubrir la placa o tubo metálico con una película de elevado coeficiente de absorción para el intervalo de longitudes de onda del visible y con transparencia en el infrarrojo.

Existen materiales con estas propiedades, pero el problema principal radica en lograr su deposición sobre el receptor metálico de tal manera que se garantice su estabilidad y su costeabilidad. Para este efecto, se ha trabajado varios años sobre métodos de deposición química y electroquímica de  $\text{CrO}_3$  sobre cobre y fierro. Asimismo, se ha depositado  $\text{Cu O}$  y  $\text{Cu S}$  sobre cobre y se han tratado el aluminio y el fierro para lograr capas selectivas de algunos óxidos.

El desarrollo experimental se ha enfocado en la preparación de muestras bajo un estricto control de diversos procedimientos de deposición y en la medición de las propiedades ópticas resultantes mediante

el uso de un equipo construido expresamente para este propósito.

En la figura 8 se muestra un esquema del aparato desarrollado, el cual se ilustra en la fotografía de la figura 9. La muestra, ubicada en un recipiente al vacío, se calienta mediante una lámpara de xenón; el termopar colocado en la muestra permite medir tanto el régimen de calentamiento como el de enfriamiento, al apagar la fuente luminosa. La figura 10 muestra la curva resultante de estas operaciones. Debido al vacío y a la falta de contacto físico de la muestra con materiales conductores, la curva representa la ganancia neta de calor por absorción y la pérdida de calor por emisión. Valores clásicos de absorptividad y emisividad de las muestras preparadas son  $a = 0.79$  y  $e = 0.2$ .

Con base en estos resultados se ha procedido a la deposición de  $\text{CrO}_3$  sobre placas de cobre de dimensiones adecuadas para captadores de interés práctico. Es obvio que la utilidad de este tipo de superficies selectivas es mayor cuando la temperatura de operación de los captadores es elevada, o sea, de 80°C en adelante.

### FIBRAS NATURALES EN CAPTADORES SOLARES

Una manera de abatir los costos de los captadores solares es encontrar materiales de construcción de bajo precio. Con este objetivo se está trabajando en el desarrollo de materiales que utilizan fibras naturales de desechos agrícolas (bagazo de caña, fibra de coco, fibras cortas del henequén, cacao, etc). El aglutinamiento de estos desperdicios celulósicos mediante el uso de polietileno de desecho permite obtener mate-

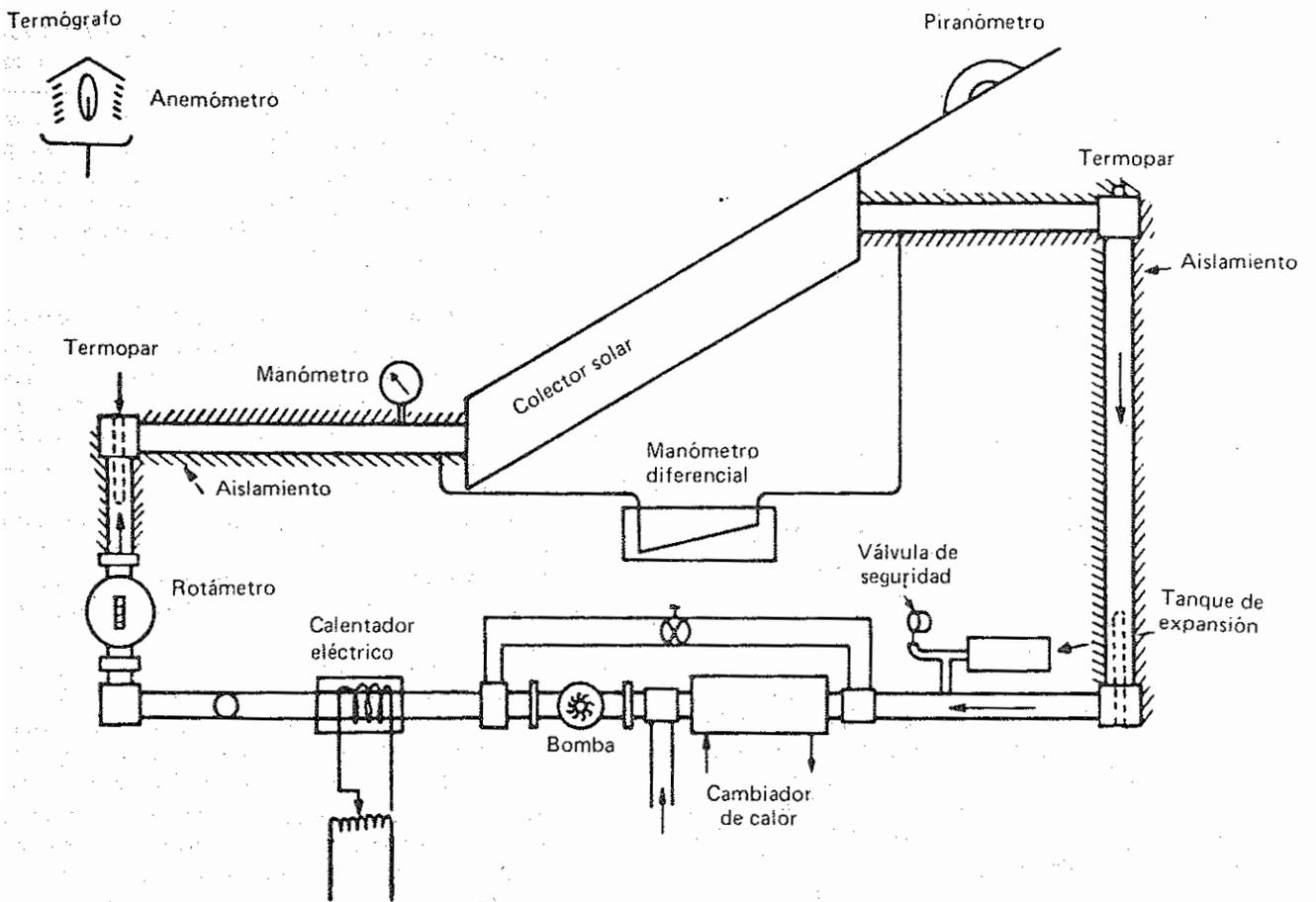


Figura 6. Diagrama del equipo de prueba para colectores solares.

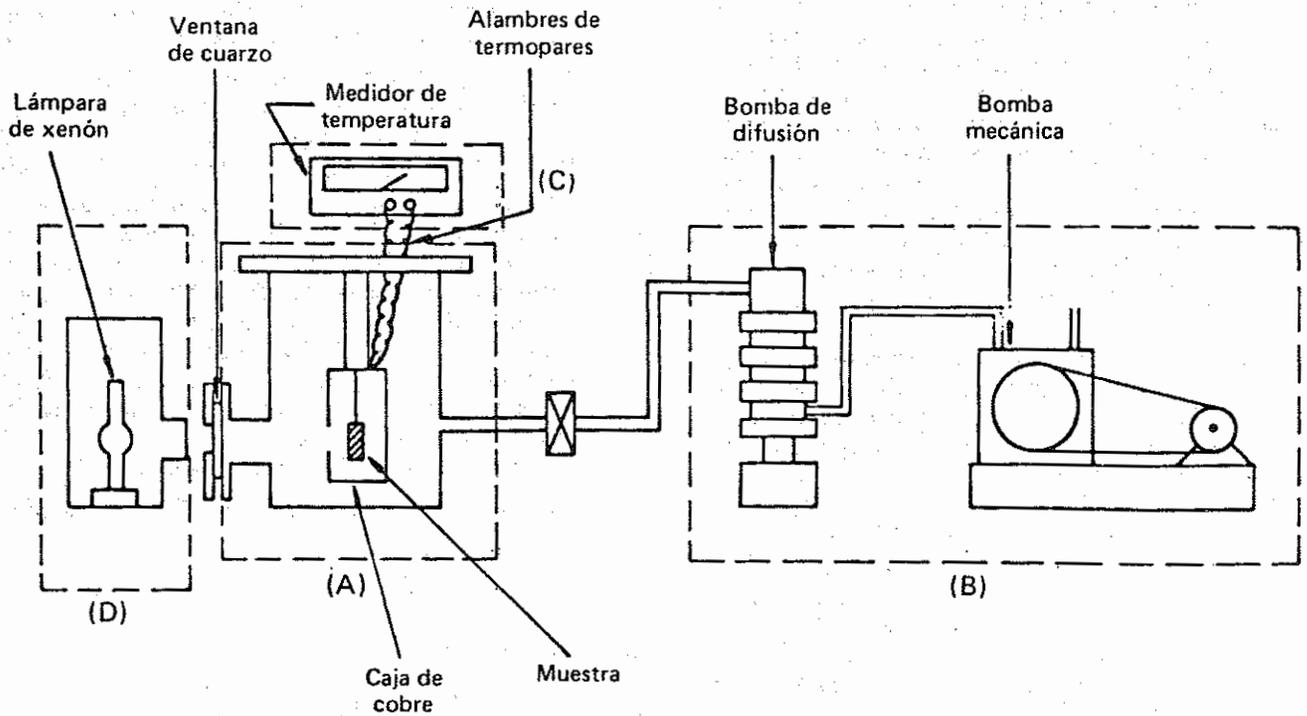


Figura 8. Esquema del aparato de medición.

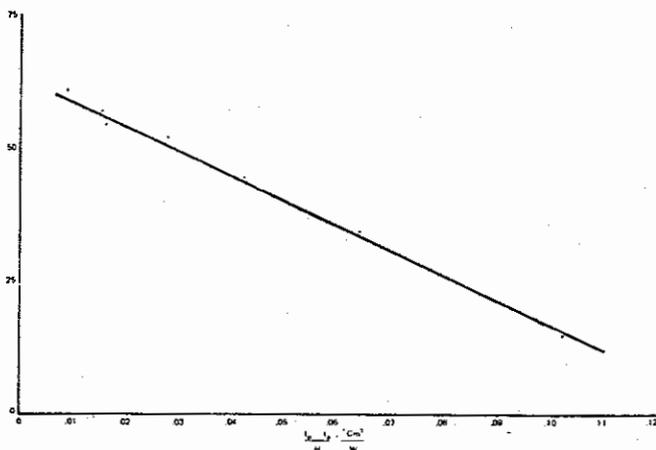


Figura 7. Curva de eficiencia de un captador solar típico.

riales de alta resistencia a efectos de intemperismo, contar con un material a un tiempo estructural y aislante y eliminar la caja, usualmente metálica, que conforma al captador solar.

La investigación en curso está dirigida hacia el establecimiento de las proporciones adecuadas de los componentes fibra-resina y hacia la caracterización mecánica y térmica del material final. La tecnología de fabricación en serie y en forma modular se está desarrollando. La figura 11 muestra una fotografía de este tipo de sistema.

## REFRIGERACION Y AIRE ACONDICIONADO SOLARES

La conservación de productos perecederos es una necesidad primordial para el desarrollo de cualquier sociedad. En el caso de México, el hecho de que existan más de 90.000 poblaciones pesqueras o agrícolas con menos de 2.500 habitantes, hace que la "cadena del frío" (preservación y conservación de un producto desde su origen hasta el consumidor) sea muy difícil de implantar por falta de locales adecuados, ya sea en el lugar de origen o en algún centro distribuidor urbano o semiurbano. Esta situación trae como grave consecuencia una pérdida enorme tanto en la calidad como en la cantidad de producto útil,

lo que afecta fuertemente a la economía y salud de cientos de miles de personas. Los sistemas comerciales tradicionales empleados para obtener refrigeración involucran procesos mecánicos operados mediante fuentes convencionales de energía (electricidad, diesel, etc.). El costo, mantenimiento y operación de estos equipos caen normalmente fuera de las posibilidades tanto económicas como técnicas de muchas poblaciones rurales. Es necesario desarrollar equipos de bajo costo, de operación y mantenimiento sencillos y, especialmente, de áreas alejadas de recursos energéticos convencionales, que utilicen otras formas de energía.

## El ciclo de absorción

La obtención de frío a partir de la energía solar es una de las aplicaciones más prometedoras de esta fuente energética. El proceso utilizado es el de refrigeración por absorción, el cual ha sido conocido y empleado desde principios de este siglo mediante fuentes convencionales de calor, tales como combustibles líquidos y gaseosos, resistencias eléctricas y aún fuentes térmicas industriales residuales (vapor de baja calidad, gases de combustión, etc.).

En la figura 12 se muestran en forma esquemática el ciclo de absorción empleado para obtener enfriamiento a partir de una fuente térmica. El esquema representa un sistema de absorción de operación continua, es decir, en el cual la producción de frío es simultánea a la utilización de la fuente térmica. Existen sistemas de operación intermitentes, los cuales no se discutirán en este trabajo. Es obvio que en ambos sistemas, a menos de que se provean sistemas de almacenamiento, su operación será periódica, es decir, sólo operarán los sistemas durante el día solar.

Existen varias docenas de mezclas que pueden emplearse en los ciclos de absorción. Para describir el ciclo mostrado en la figura 12 se supondrá que el sistema opera con una mezcla absorbente-refrigerante de  $H_2O-NH_3$ . El ciclo consta de cinco componentes principales: generador (G), condensador (C), absorbedor (A), evaporador (E) e intercambiador de calor (I). Al sujetar la mezcla rica en amoníaco que se encuentra en el generador, G, a una fuente térmica  $Q_G$ , de temperatura se producen vapores de amoníaco, los cuales son de temperatura  $T_G$ , condensados en C a una temperatura  $T_C$ ; este proceso se lleva a cabo a una presión relativamente alta (la presión será función de  $T_C$ , ya que el amoníaco debe condensarse a  $P_C$  y  $T_C$ ). El amoníaco líquido es conducido a través de un válvula reductora de presión ( $V_1$ ), al evaporador E, en donde, a baja presión absorbe calor del medio que lo rodea,  $Q_E$ , a una temperatura  $T_E$ , siendo esto el efecto de refrigeración. El amoníaco evaporado es conducido al absorbedor A, en donde se pone en contacto con la solución débil proveniente del generador y que ha sido preenfriada en el intercambiador I, mediante la solución fuerte que se forma en el absorbedor. La válvula  $V_2$  reduce la presión de la solución débil y la bomba P eleva la presión de la solución fuerte. La absorción del amoníaco en la solución débil, ávida de éste, es un proceso exotérmico, por lo que es necesario extraer de A un calor  $Q_A$  mediante una fuente de enfriamiento a  $T_A$  debe cumplirse que:

$$T_G > T_C \approx T_A > T_E$$

así como que:

$$(P_G = P_C) > K (P_E = P_A)$$

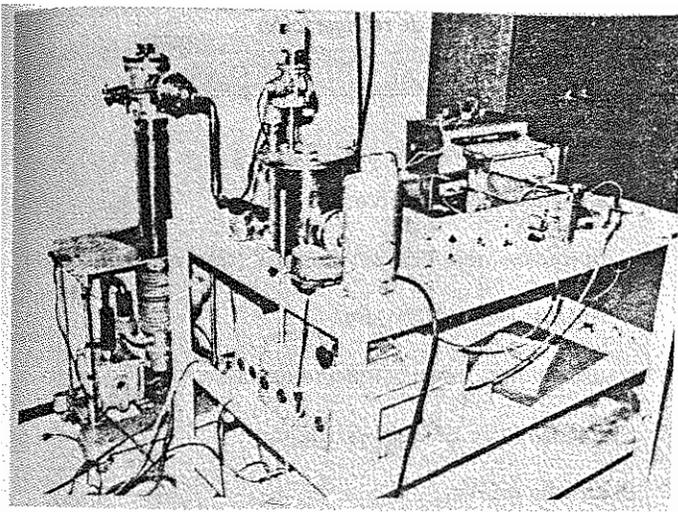


Figura 9. La fotografía ilustra el sistema de prueba de superficies selectivas, con la fuente de radiación en primer plano, el sistema de vacío en la parte izquierda y diversos instrumentos de medición y control de las pruebas.

Comparando este sistema con un refrigerador por compresión se puede ver que la compresora ha sido sustituida por un sistema generador-absorbedor que entrega refrigerante gaseoso a alta presión al condensador y lo acepta a baja presión del evaporador, proceso que llevaría a cabo el compresor.

#### La energía solar en el ciclo de absorción

La energía solar será la fuente térmica para el gene-

rador en ciclos de absorción y para ello es necesario adaptar este proceso al nivel térmico y a las características propias de la radiación solar.

La figura 13 representa los pasos en el diseño de un sistema de absorción y la figura 14 el proceso de diseño del sistema de colección solar a usar este tipo de ciclo de enfriamiento.

Entre los problemas de investigación específicos al desarrollo de los sistemas de refrigeración por absorción utilizando la energía solar se encuentran los siguientes:

Relativamente baja temperatura en el generador (80-100°C son captadores planos) en comparación con sistemas de absorción operados con flama (180-200°C).

Baja eficiencia termodinámica de este tipo de ciclos.

Alta temperatura ambiente en zonas áridas calientes, lo cual plantea un problema en la fuente de enfriamiento (sumidero de calor).

Presiones de operación relativamente altas (alrededor de 13 atm si  $T_C$  es de 32°C).

Poca experiencia sobre el comportamiento del sistema bajo condiciones de arranque y paros o variaciones de insolación.

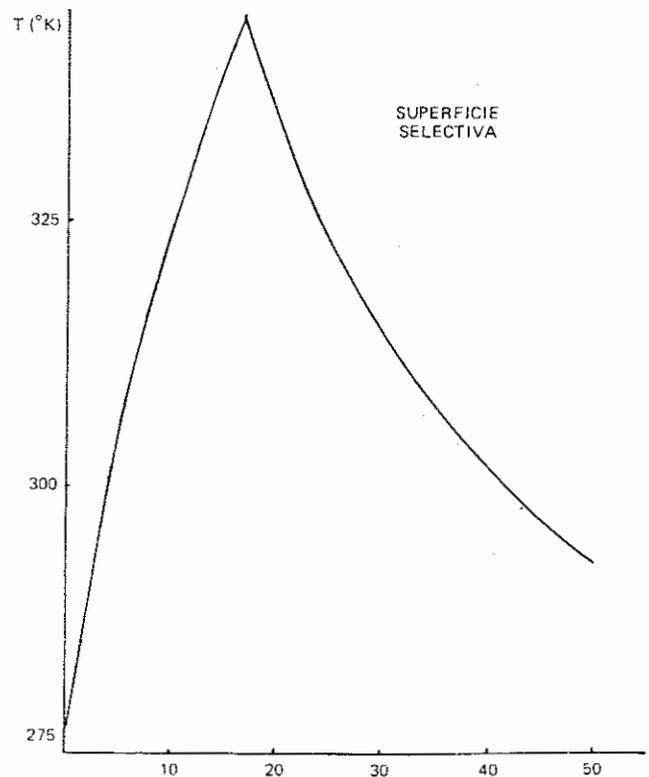
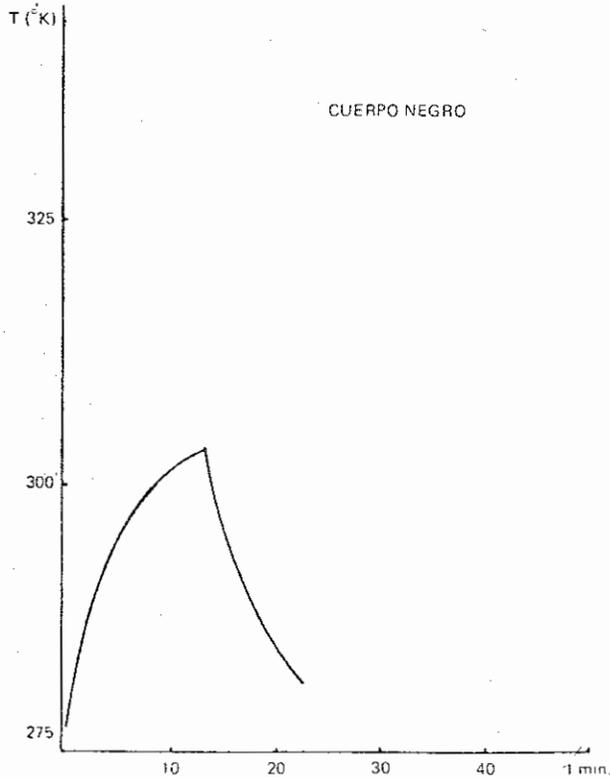


Figura 10. Variación de la temperatura con el tiempo durante el calentamiento y el enfriamiento de un cuerpo negro y una superficie selectiva.

Bajo desarrollo de colectores solares con cambios de fase.

### Desarrollo experimental

Los sistemas en estudio, así como sus características principales, son las siguientes:

Producción de hielo (en construcción):

capacidad: 100 kg de hielo por día

$$T_G = 85^\circ C$$

$$T_E = -10^\circ C$$

área de colectores: 25 m<sup>2</sup>

operación: continua con bomba de circulación de solución fuerte (1/10 HP)-periódico

fluidos: H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub> en el ciclo

uso del frío: enfriamiento de una tina de salmuera.

Enfriamiento de una bodega frigorífica (diseñado)

capacidad: 10 m<sup>3</sup>

$$T_G = 85^\circ C$$

$$T_E = -10^\circ C$$

área de colectores: 25 m<sup>2</sup>

operación: semicontinua (generación periódica, evaporación continua durante las 24 horas)

fluidos: H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>

uso del frío: enfriamiento de aire para inyección a una bodega de 10 m<sup>3</sup>.

Producción de hielo (construido)

capacidad: 15 kg hielo por día

$$T_G = 90^\circ C$$

$$T_E = 8^\circ C$$

área de colectores: 9 m<sup>2</sup>

operación intermitente - periódica

fluidos: NH<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O

uso del frío-producción directa de hielo

Aire acondicionado doméstico (diseñado)

capacidad: 2 ton. de refrigeración

$$T_G = 85^\circ C$$

$$T_E = 14^\circ C$$

área de colectores: 16 m<sup>2</sup>

operación continua sin bombas (tipo electrolux)

fluidos: H<sub>2</sub>O - NH<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>

uso del frío: en enfriamiento de aire

Enfriamiento de leche (en diseño)

### Desarrollo teórico

La eficiencia teórica termodinámica de los refrigeradores por absorción puede obtenerse de la siguiente manera:

Balance de calor total:

$$Q_c + Q_a = Q_g + Q_e$$

Balance de entropía total:

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_a}{T_a} \geq \frac{Q_g}{T_g} + \frac{Q_e}{T_e}$$

si suponemos que:  $T_c = T_a = T_o$ ,

entonces:

si COP = coeficiente de operación termodinámica

$$COP = \frac{Q_e}{Q_g} \leq \left( \frac{T_g - T_o}{T_o - T_e} \right) \frac{T_e}{T_g}$$

A partir de este breve análisis del comportamiento termodinámico de los refrigeradores por absorción, puede observarse el efecto que tienen los niveles térmicos de operación sobre la eficiencia. Como ejemplo se presenta la gráfica 16 en la cual pueden verse los efectos individuales de las temperaturas de generación y condensación. A partir de este tipo de análisis pueden preverse problemas de operación particulares.

El diseño y construcción de este tipo de sistemas se complica en cuanto es necesario tomar en cuenta procesos de cambio de fase de soluciones binarias, lo que requiere una metodología y tecnología específicas. Paralelamente a los trabajos experimentales en curso, se están llevando a cabo estudios teóricos dirigidos hacia el desarrollo de criterios de diseño más adecuados. Aunque la mayoría de los sistemas en estudio están basados en el uso de la mezcla NH<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O, se han iniciado trabajos hacia el análisis del

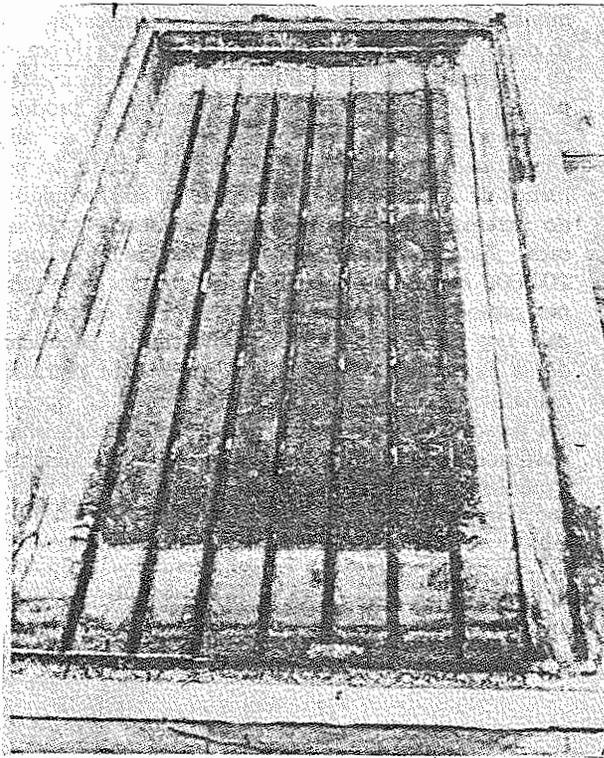


Figura 11. Este captador solar está construido con una caja de fibra natural. Puede observarse que esta fibra integra estructuralmente el conjunto y proporciona al mismo tiempo aislamiento térmico.

comportamiento de este ciclo con otras mezclas, tales como  $\text{NaSCN}-\text{NH}_3$ ,  $\text{LiBr}-\text{H}_2\text{O}$ .etcétera.

Como todo proceso, pero principalmente ciclos termodinámicos, es fundamental el llevar a cabo análisis termo-económicos sobre diferentes diseños. Este tipo de análisis involucra tanto una optimización puramente termodinámica (irreversibilidades) como del costo atado a esa optimización. Para ello, se están llevando a cabo estudios basados en el concepto de Exergía, la cual es una medida de esas pérdidas irreversibles.

Se prevé que el nivel tecnológico adecuado para hacer factible la implantación de este tipo de sistemas será alcanzado en los próximos dos años.

En resumen, la refrigeración y el aire acondicionado utilizando la energía solar como fuente térmica de un sistema de absorción es primordialmente un problema de adaptación tecnológica. Las dificultades principales que deberán resolverse y que harán práctica y económicamente factible este proceso radican en el avance de la tecnología solar y en un mejor entendimiento de los aspectos termodinámicos de estos ciclos. Es obvio que para este tipo de desarrollos es necesario contar con la participación de varias disciplinas: ingeniería química, ingeniería mecánica, física y química.

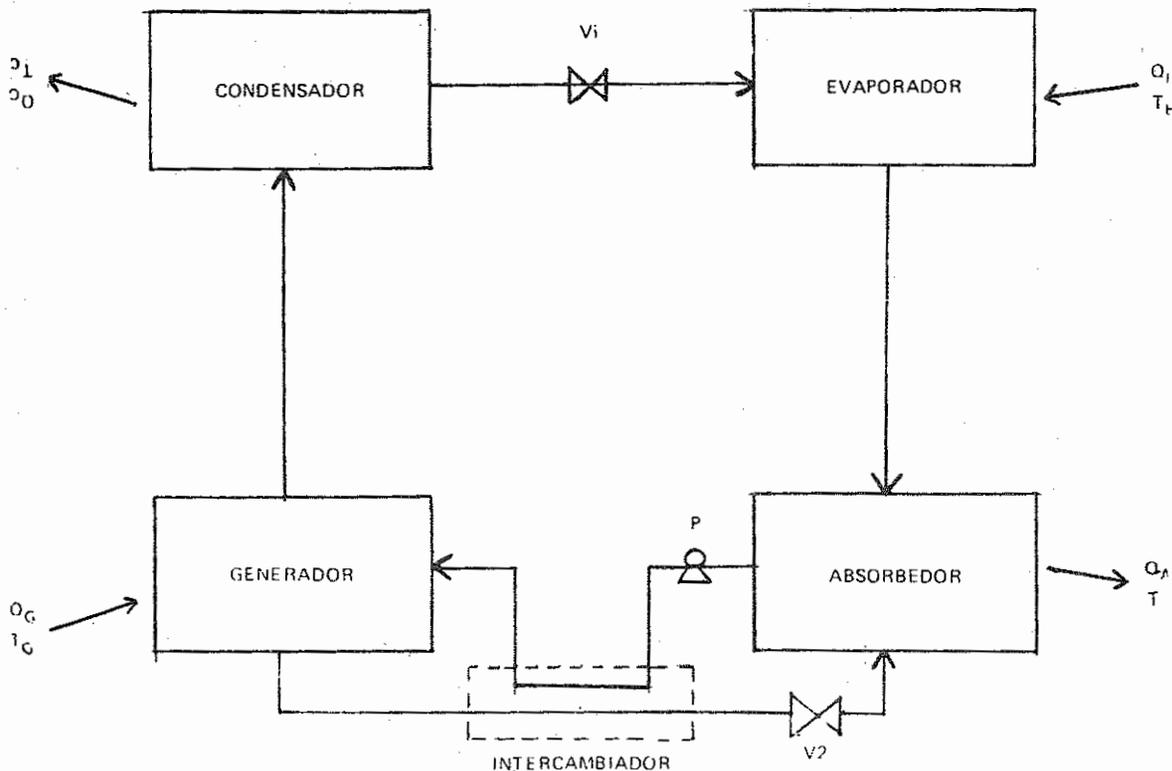


Figura 12. Ciclo de refrigeración por absorción.

## EL SECADO SOLAR DE GRANOS

El problema del consumo de alimento en México es posiblemente el más grave y el peor estudiado, por su insospechada complejidad. Generalmente este tema se asocia con los problemas políticos del campo y con el atraso tecnológico de nuestra agricultura. Pero si se establece como objetivo global incrementar la disponibilidad de alimento por parte del consumidor final, el panorama se simplifica y se identifican las componentes técnicas del problema.

En granos como el maíz, el sorgo, la soya y el trigo reside la mayor parte de la dieta de las clases desposeídas. Se puede afirmar que las pérdidas entre la cosecha y la distribución final de granos es de 10 a 40 por ciento de la producción bruta nacional; así, dis-

minuir las pérdidas de conservación y almacenamiento dará como resultado neto la mayor oferta de grano en el mercado. Es más barato y factible reducir estas pérdidas, a corto plazo, que aumentar la producción agrícola. Se puede comprobar que, en seis años, pueden reducirse las pérdidas de maíz, en no menos de 1.5 millones de toneladas al año, empleando sistemas racionales de almacenamiento y de secado. Este resultado sería igual al de incorporar 200.000 hectáreas nuevas de riego anuales en el mismo período; sin embargo, esta empresa costaría al país una cifra inalcanzable, equivalente al producto de la exportación de 200.000 barriles de petróleo diariamente a lo largo de esos seis años. La opción del secado solar de granos, para su almacenamiento posterior, es más atractiva técnica y económicamente a mediano y largo plazos.

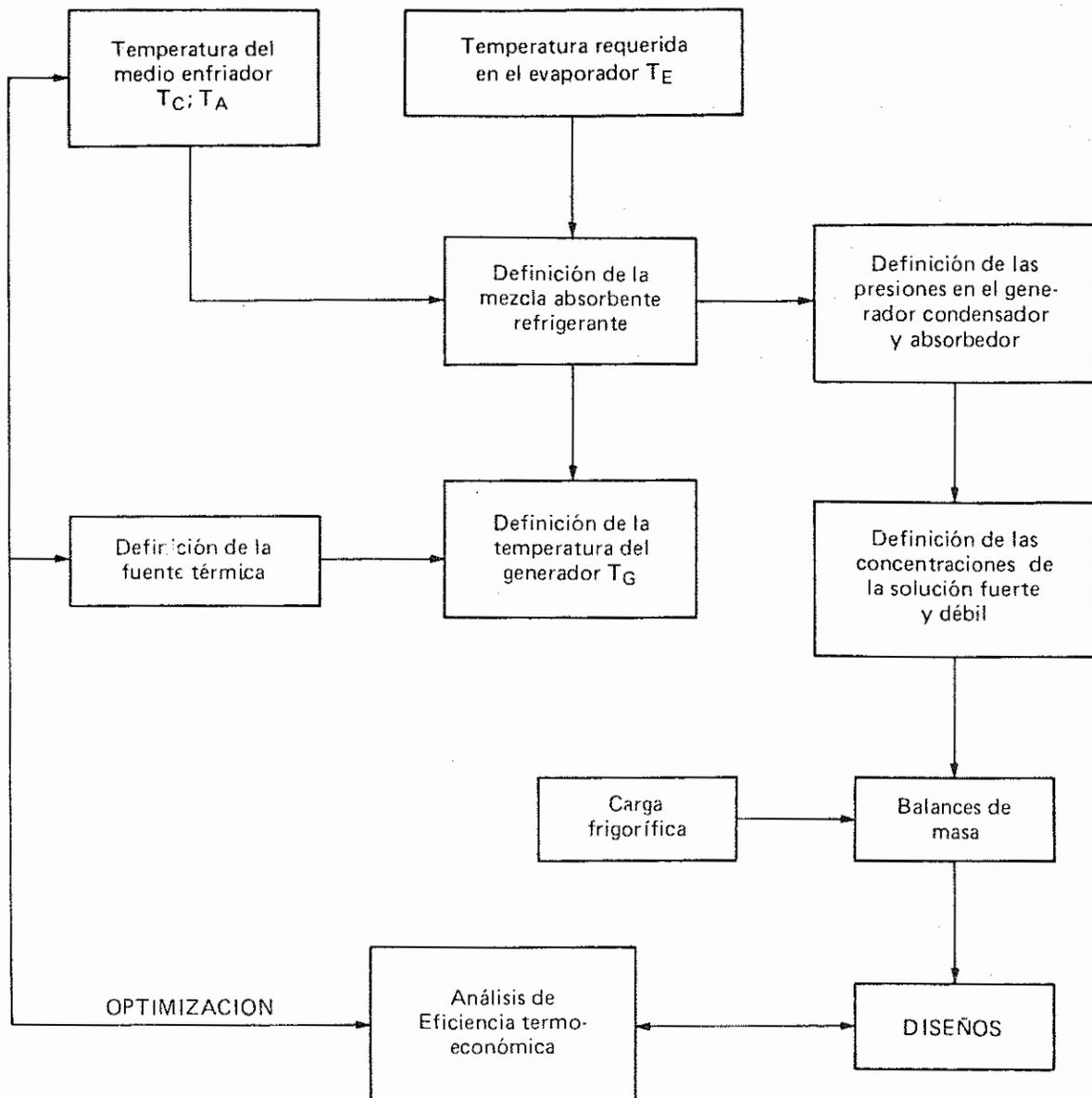


Figura 13. Pasos de diseño para un sistema de refrigeración por absorción.

## Análisis del secado de grano

La remoción de humedad del grano como el maíz es esencial para poderlo almacenar, empacar y distribuir sin que se deteriore por su propio metabolismo o por microorganismos y plagas. La capacidad del grano de entregar humedad al ambiente está gobernada por la difusividad del agua en el grano según la expresión.

$$\frac{\partial X}{\partial \theta} = D \frac{\partial^2 X}{\partial y^2}$$

donde  $X$  es la humedad en porcentaje del peso total,  $Y$  es el tiempo,  $D$  es la difusividad y  $Y$  es una longitud característica del grano. Si el ambiente tiene una humedad constante, eventualmente la humedad del grano se estabiliza en un valor final  $X_e$  en un tiempo infinito. Si este grano tiene una humedad inicial  $X_o$  en  $\theta = 0$ , la ecuación anterior puede integrarse así que

$$\frac{\bar{X}_\theta - X_e}{\bar{X}_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 D \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \theta\right]$$

la cual permite calcular con buena precisión la humedad  $X_e$  a cualquier tiempo  $\theta$ , usando únicamente los valores de  $n = 1, 2, \dots, 6$  en la expansión de Fourier y haciendo  $l$  igual a la mitad del espesor medio del grano.

El proceso de secado consiste entonces en hacer  $X_e$  tan bajo como sea posible para reducir el valor de

$\theta$ , tal que la humedad final del grano, usualmente de 8 a 10 por ciento, cuando la humedad inicial varía de 20 a 30 por ciento, se alcance rápidamente sin exceder la temperatura de 42° C en ningún momento. La forma más económica de secar grano es utilizando aire caliente con valores de  $X_e \ll 8$  o/o.

Esto puede hacerse en cualquier parte del país, en cualquier época del año, con aire que se calienta desde la temperatura ambiente hasta unos 40-42° C mediante la combustión de gas, diesel, o mediante energía solar. El uso de calentadores de combustible es caro, técnicamente complejo y puede contaminar el grano.

## El secado con energía solar

La figura 17 muestra en esquema el sistema de calefacción solar del aire que ha sido probado exitosamente en México y en varios otros países. El aire es succionado por un ventilador a través de un calentador solar, donde se aumenta su temperatura de unos 10 a 15° C y se abate su humedad relativa aproximadamente a la mitad. Este aire caliente se convierte así en un excelente medio para secar el grano, y el mismo ventilador hace pasar el aire a través del grano secándolo. Este fenómeno puede estudiarse con las ecuaciones anteriores haciendo que  $X_e$  tome valores como una función de la radiación solar del momento, del diseño del calentador solar de aire y de la velocidad del aire. La figura 18 muestra la correlación entre las predicciones teóricas de la variación de la humedad del grano con el tiempo y algunos resultados experimentales.

Puede concluirse que el secado de granos por me-

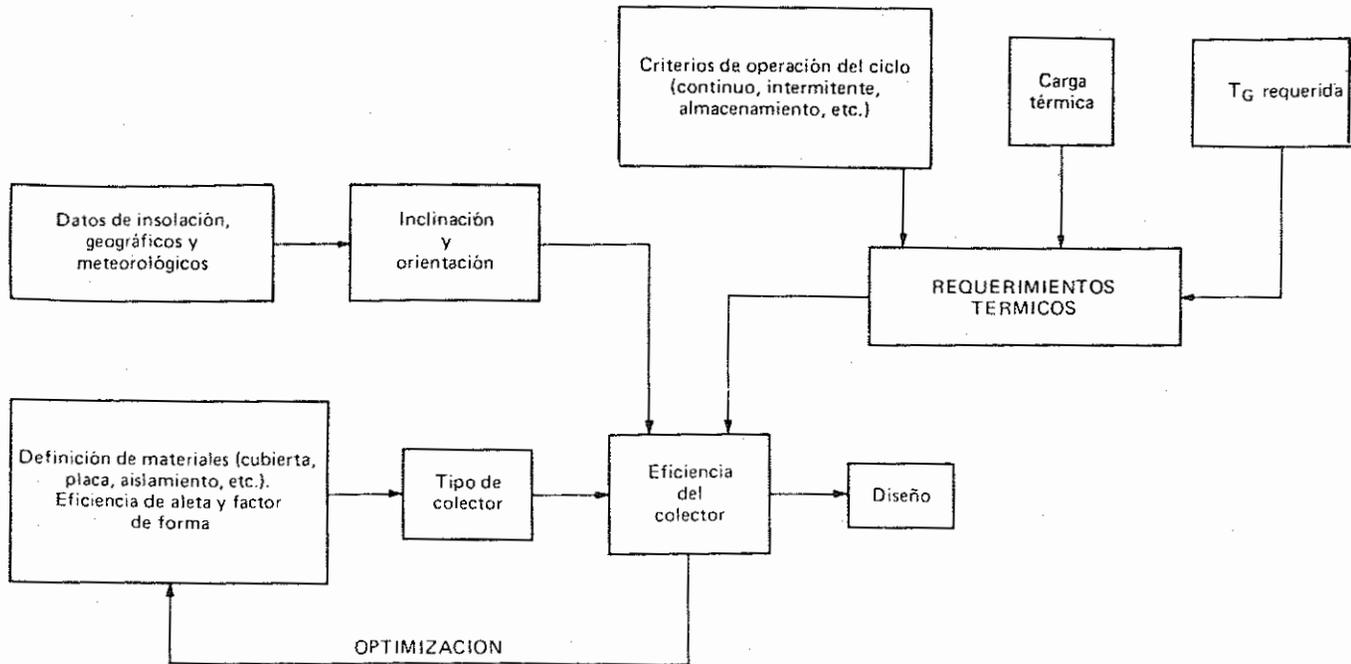


Figura 14. Proceso de diseño de un sistema colector de energía solar para un refrigerador por absorción.

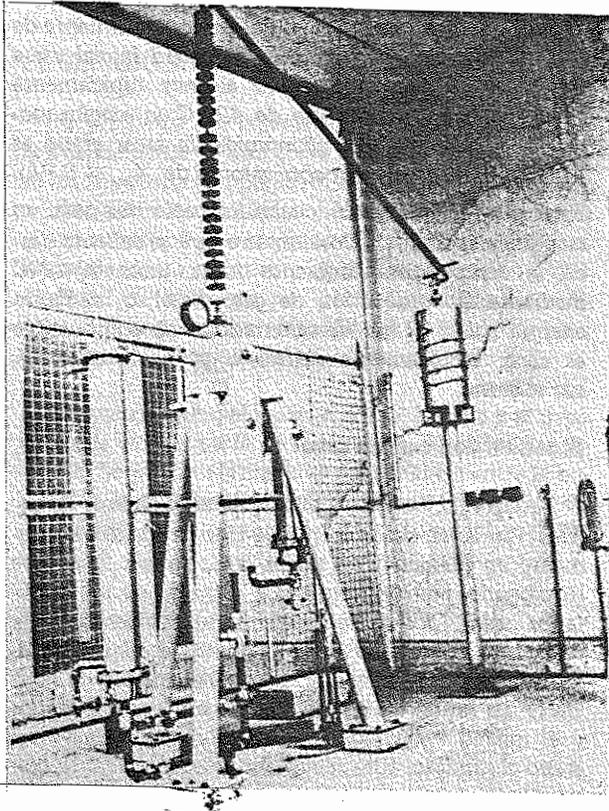


Figura 15. La fotografía muestra el sistema de absorción del refrigerador accionado por energía solar.

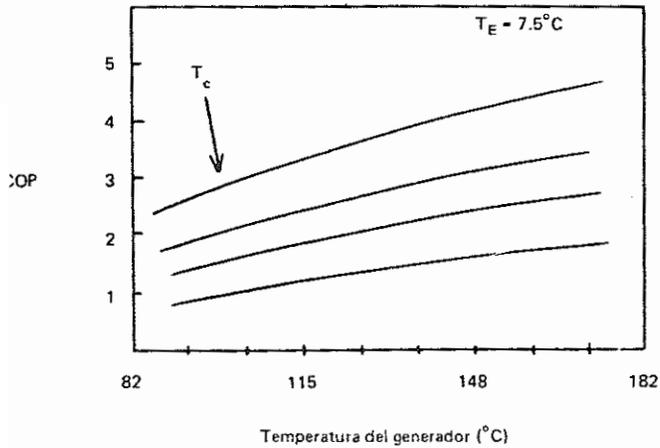


Figura 16. COP teóricos.

El uso de la energía solar es económicamente atractivo y que tecnológicamente está desarrollado, al punto en que falta tan sólo despertar el interés de los posibles usuarios para implantar su utilización masiva.

#### BIBLIOGRAFIA

John Duffie y Willian Beckman, *Solar Energy Thermal Processes*, Wiley-Interscience, 1974.

A. B. Meinel y M. P. Meinel, *Applied Solar Energy: an Introduction*, Addison-Wesley, 1976.

B. J. Brinkworth, *Solar Energy for Man*, Compton Press, Londres y Halstead Press, 1972.

A. A. M. Sayight, *Solar Energy Engineering*, Academic Press, 1977.

S. V. Szokolay, *Solar Energy and Building*, Architectural Press, Londres, 1975.

James L. Threlkeld, *Thermal Environmental Engineering*, Pretice Hall 1962.

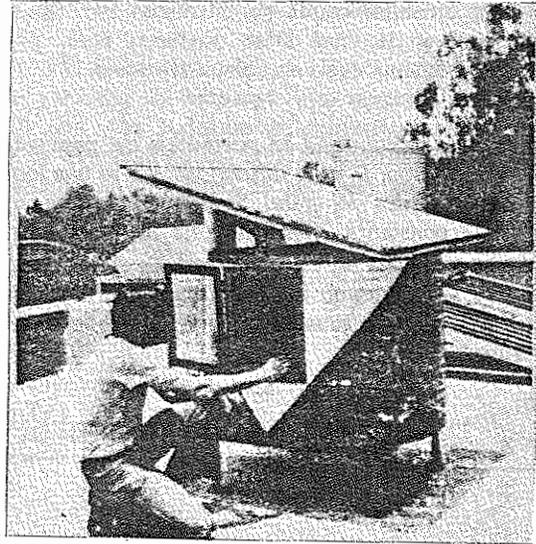


Figura 17. Este sencillo secador solar de grano, de 250 kg de capacidad, tiene el calentador solar de aire en la parte superior, el ducto de bajada de aire caliente en la parte posterior (oculto) y el depósito de lámina donde el grano se seca en un proceso intermitente.

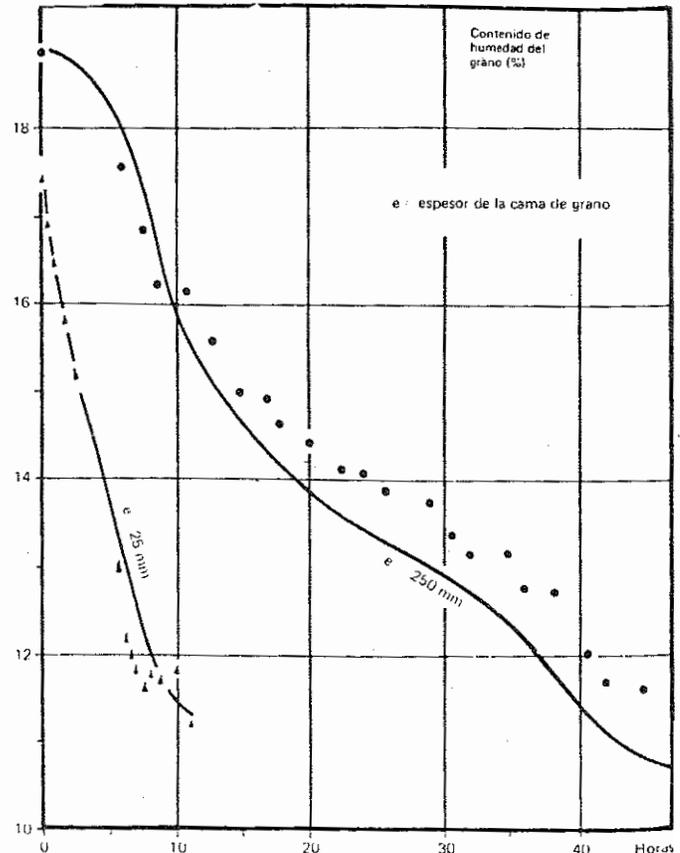
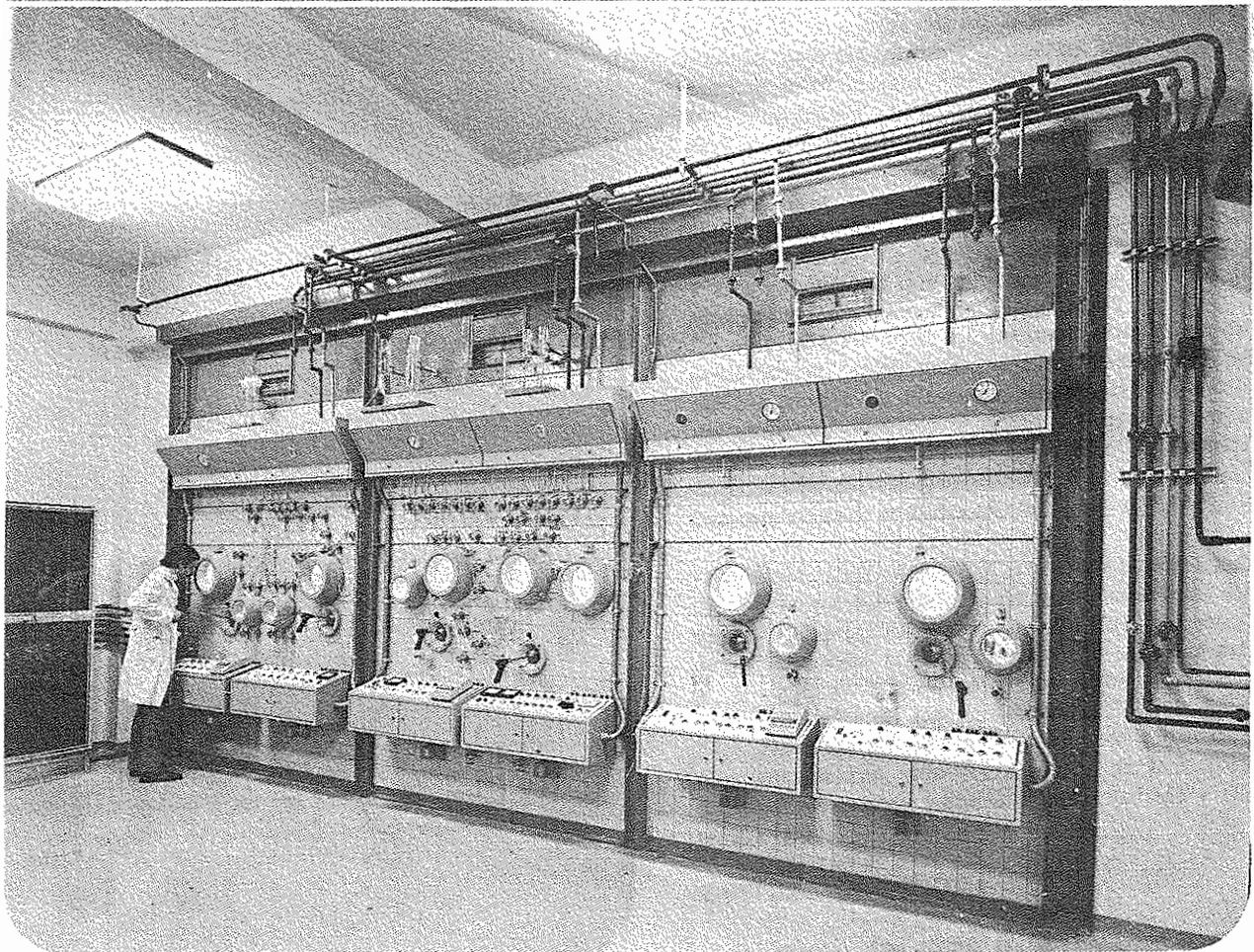
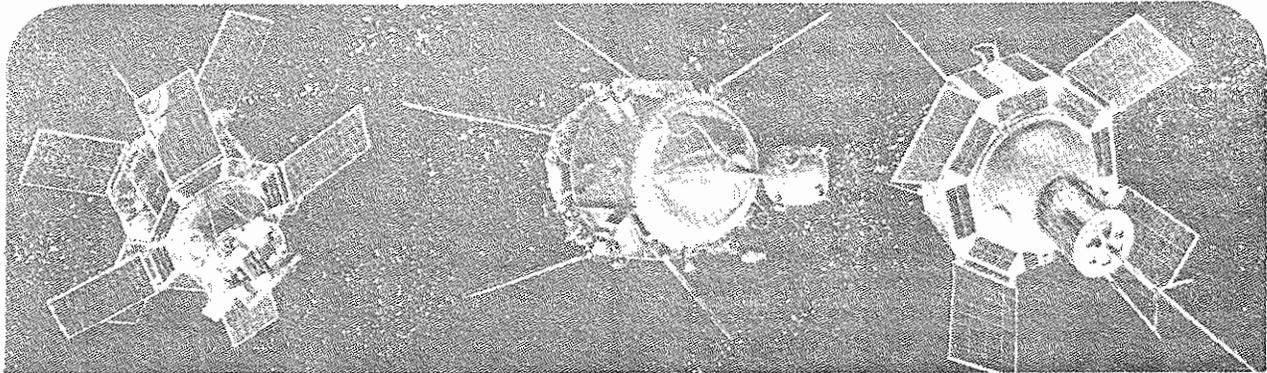


Figura 18. Correlación de los resultados experimentales y teóricos del tiempo de secado del grano, con espesores de cama de 25 y 250 mm.

# Venezuela

## Energía Solar



Ing. MISAEL PABON DIAZ  
FACULTAD DE INGENIERIA,  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO, VALENCIA

#### VENEZUELA: SOLAR ENERGY

The venezuelan experience on solar energy has been centered principally in the Engineering School of the Carabobo University, Valencia. Said University together with funds of the CADAFE enterprise develops currently a study for the construction of solar heaters that produce hot water on a short and long scale, besides a study to design and construct small air conditioning plants that work with solar energy.

This study corresponds to a program over the sun, as energy source, characteristics of the solar radiation and its applications: flat plate and focusing collectors, water pumps and solar boilers and photo-voltaic cells.

The study contains an interesting analysis over the social impact of the solar energy and over its efficiency and applications related to the economic level.

## EL SOL COMO FUENTE DE ENERGIA

Es común decir, que casi todas las fuentes de energía utilizadas por el hombre, o potenciales, son de origen solar, comenzando por la energía muscular, la primera en fecha, y que es engendrada por los alimentos.

El origen solar de las energías puede ser:

- Actual: energía del viento, energía hidráulica, la combustión de maderas o de aceites vegetales
- O fósil: la hulla, el petróleo, el gas natural.

El descubrimiento del fuego, que fue una etapa capital en la evolución de la humanidad, permite transformar en calor la energía solar almacenada en los vegetales, netamente en las maderas.

Más también utilizamos la hulla, producto de la descomposición de grandes bosques, de la época carbonífera, enterrados bajo el suelo hace 300 millones de años y donde, por tanto, también encontramos el sol en conserva. Otra forma es el petróleo, que la mayor parte de los científicos consideran como el resultado de la transformación de residuos orgánicos. En suma, a excepción de ciertas reacciones químicas (explosiones) de la energía térmica subterránea (volcanes, fuentes calientes, etc.) y de la energía nuclear, es la energía del sol la que ha dado y da al hombre, bajo las formas más diversas, los medios de dominar la naturaleza. Pero ciertas de estas formas, los combustibles fósiles, no existen más que en cantidades limitadas (el carbón: hulla, turba, lignito; el petróleo: el gas natural).

La energía hidráulica, que tiene la propiedad de renovarse constantemente, no podrá suministrar más que en cantidad de energía relativamente modesta, y esto suponiendo que todas las caídas y cursos de agua se pudieran equipar para este fin.

La energía solar ofrece una gran gama de posibilidades: calentamiento, climatización, refrigeración, cocción de alimentos, alimentación de motores térmicos, eléctricos, y obtención de altas temperaturas para la fusión de materiales refractarios.

### Características de la Radiación Solar

Al límite de la atmósfera, el sol aporta por segundo sobre una superficie de un metro cuadrado, expuesta normalmente a los rayos, un flujo energético de 1.395 vatios, con una distribución espectral más o menos igual a la de un cuerpo negro radiando a 5.800 grados Kelvin aproximadamente.

Esta energía está constituida por radiaciones electromagnéticas, que los aparatos de utilización degradan en energía térmica a baja, mediana y alta temperatura.

### CANTIDAD DE ENERGIA

La energía que recibe la tierra proveniente del

Ing. MISAEL PABON DIAZ  
FACULTAD DE INGENIERIA,  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO, VALENCIA

#### VENEZUELA: SOLAR ENERGY

*The venezuelan experience on solar energy has been centered principally in the Engineering School of the Carabobo University, Valencia. Said University together with funds of the CADAFE enterprise develops currently a study for the construction of solar heaters that produce hot water on a short and long scale, besides a study to design and construct small air conditioning plants that work with solar energy.*

*This study corresponds to a program over the sun, as energy source, characteristics of the solar radiation and its applications: flat plate and focusing collectors, water pumps and solar boilers and photo-voltaic cells.*

*The study contains an interesting analysis over the social impact of the solar energy and over its efficiency and applications related to the economic level.*

## EL SOL COMO FUENTE DE ENERGIA

*Es común decir, que casi todas las fuentes de energía utilizadas por el hombre, o potenciales, son de origen solar, comenzando por la energía muscular, la primera en fecha, y que es engendrada por los alimentos.*

*El origen solar de las energías puede ser:*

- *Actual: energía del viento, energía hidráulica, la combustión de maderas o de aceites vegetales*
- *O fósil: la hulla, el petróleo, el gas natural.*

*El descubrimiento del fuego, que fue una etapa capital en la evolución de la humanidad, permite transformar en calor la energía solar almacenada en los vegetales, netamente en las maderas.*

*Más también utilizamos la hulla, producto de la descomposición de grandes bosques, de la época carbonífera, enterrados bajo el suelo hace 300 millones de años y donde, por tanto, también encontramos el sol en conserva. Otra forma es el petróleo, que la mayor parte de los científicos consideran como el resultado de la transformación de residuos orgánicos. En suma, a excepción de ciertas reacciones químicas (explosiones) de la energía térmica subterránea (volcanes, fuentes calientes, etc.) y de la energía nuclear, es la energía del sol la que ha dado y da al hombre, bajo las formas más diversas, los medios de dominar la naturaleza. Pero ciertas de estas formas, los combustibles fósiles, no existen más que en cantidades limitadas (el carbón: hulla, turba, lignito; el petróleo: el gas natural).*

*La energía hidráulica, que tiene la propiedad de renovarse constantemente, no podrá suministrar más que en cantidad de energía relativamente modesta, y esto suponiendo que todas las caídas y cursos de agua se pudieran equipar para este fin.*

*La energía solar ofrece una gran gama de posibilidades: calentamiento, climatización, refrigeración, cocción de alimentos, alimentación de motores térmicos, eléctricos, y obtención de altas temperaturas para la fusión de materiales refractarios.*

### Características de la Radiación Solar

*Al límite de la atmósfera, el sol aporta por segundo sobre una superficie de un metro cuadrado, expuesta normalmente a los rayos, un flujo energético de 1.395 vatios, con una distribución espectral más o menos igual a la de un cuerpo negro radiando a 5.800 grados Kelvin aproximadamente.*

*Esta energía está constituida por radiaciones electromagnéticas, que los aparatos de utilización degradan en energía térmica a baja, mediana y alta temperatura.*

### CANTIDAD DE ENERGIA

*La energía que recibe la tierra proveniente del*

sol es considerable, representando una potencia de  $180 \times 10^{12}$  kilowatios, lo que quiere decir que a nivel terrestre considerando un día de bastante sol, bajo una latitud favorable, se recibe una potencia hasta de  $935 \text{ watt/m}^2$ .

Se considera generalmente una potencia media de  $1 \text{ Kw/m}^2$ , lo cual significa que por ejemplo en los Estados Unidos, todas sus necesidades energéticas en el año 2000, corresponderán a la energía solar recibida en menos del 1 % de su territorio.

Según los estudios de Irradiancia Solar sobre Caracas, del Profesor Melchor Centeno V., se reciben sobre ella un promedio de  $5,61 \text{ kwh/m}^2$  día, promedio éste de las mediciones realizadas desde 1953 hasta 1974. Si tomamos el valor de Caracas como una muestra para toda Venezuela, se recibirán en nuestro territorio aproximadamente:

$$\frac{5,61 \times 10^6 \times 10^6}{24} \frac{\text{Kwh} \times \text{m}^2 \times \text{Km}^2}{\text{m}^2 \times \text{día} \times \text{Km}^2 \cdot \text{h}} = 0,23 \times 10^{12} \text{ Kw de po-}$$

tencia, suficientes para cubrir sobradamente las necesidades energéticas de Venezuela.

Tomando como base la potencia de  $1 \text{ Kw/m}^2$  se puede hacer la siguiente consideración:

$$\frac{1 \text{ Kw}}{\text{m}^2} = 860 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2} = 14,2 \frac{\text{Kcal}}{\text{min. m}^2}$$

Tomando  $100 \text{ m}^2$  de superficie (una terraza de  $10 \times 10$  metros) y además de que se logre captar el 50% de esa energía, se tendría:

$$= 100 \times 0,5 \times 14,2 = 710 \frac{\text{Kcal.}}{\text{min.}}$$

Si  $1 \text{ Kwh} = 860 \text{ Kcal}$ , se obtendría para los 100 metros cuadrados aproximadamente una potencia igual a 50 kw. Si se supone 8 horas diarias de radiación, la energía por día sería:

$$\text{Energía} = 50 \times 8 = 400 \text{ Kwh.}$$

y en promedio por hora para utilización:

$$\frac{400}{24} = 17 \text{ Kw.}$$

Puesto que la transformación térmica no funciona con una eficiencia del 100 %, sólo una parte de esa energía se podría utilizar. Si se acepta que en todo el proceso, la transferencia térmica es sólo de 5 % se tendría:

$$400 \times 0,05 = 20 \text{ Kwh por } 100 \text{ m}^2 \\ \text{y en 8 horas diarias de radiación solar.}$$

Según las estadísticas, en un hogar (familia de 3 a 4 personas) se consume por año:

a) Para cocina	2.000 Kwh
b) Para baño	2.000 Kwh
c) Climatización	4.000 Kwh
	-----
Total:	8.000 Kwh /año

Esto representa un consumo diario de  $8.000/365 = 22 \text{ Kwh}$ , los cuales prácticamente podrían cubrirse con la energía solar con sólo un rendimiento del 5 %.

Por otra parte, a razón de un kilowatio por metro cuadrado, sería necesario, teóricamente, poder recuperar la energía recibida por una superficie soleada de  $1 \text{ km}^2$  para disponer de una potencia de 1 millón

de kw correspondiente a aquella suministrada por las centrales nucleares actuales.

Además, a causa de las nubes de las noches y de la radiación oblicua, solamente un 1/16 de esta energía se puede recuperar. Por lo tanto, para obtener el millón de Kw, será preciso una superficie de  $6 \text{ km}^2$ . Y si se desea transformar esta energía en electricidad, sabiendo que el rendimiento de la transformación es actualmente del orden del 10 %, se llega a una superficie de los  $60 \text{ km}^2$ , la cual es enormemente grande.

Por lo anterior podemos observar que existen numerosos problemas técnicos para concebir instalaciones demasiado extendidas, capaces de coleccionar la luz solar, para almacenarla y para convertirla. Sin embargo se pueden hacer varias observaciones; ante todo, no hay problema técnico rigurosamente insoluble. El sólo problema es el de acordar a la investigación y al desarrollo de este tipo de energía los medios financieros suficientes para que esas investigaciones y esos desarrollos puedan, efectivamente, tener éxito.

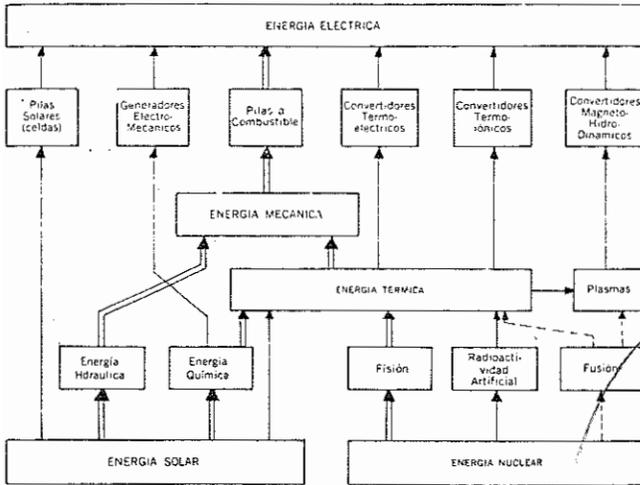


DIAGRAMA ENERGETICO

### APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR

A nivel de las investigaciones acerca de las distintas formas de energía existentes y utilizadas, se pone de manifiesto rápidamente que, a pesar de su carácter de omnipresencia, la energía solar es una de las energías cuya aplicación resulta más delicada.

El mayor problema planteado en las aplicaciones es el de la captación de la radiación y su transformación inmediata en calor o electricidad, bajo eficiencias que la hagan competitiva con las otras formas energéticas.

Las aplicaciones tanto domésticas como industriales que puedan efectuarse en base a las investigaciones que se desarrollen, se harán según las tres formas de conversión conocidas: La Conversión Termodinámica, La Conversión Directa, La Conversión Fotobiológica o Fotosíntesis.

#### a) La Conversión Termodinámica.

Se presentan dos posibilidades a saber:

1. Utilización de concentración para la obtención de temperaturas del orden de 150 a 200° C (concentración media) o del orden de 500 a 600° C (alta concentración), y ello con la ventaja de un rendimiento de Carnot elevado (un 30 % aproximadamente), o del orden de los 3.000° C (muy alta concentración).
2. Utilización de captadores planos, para los cuales los problemas de captación térmica son más arduos y que dan lugar a un rendimiento de Carnot únicamente del orden de un 10 %.

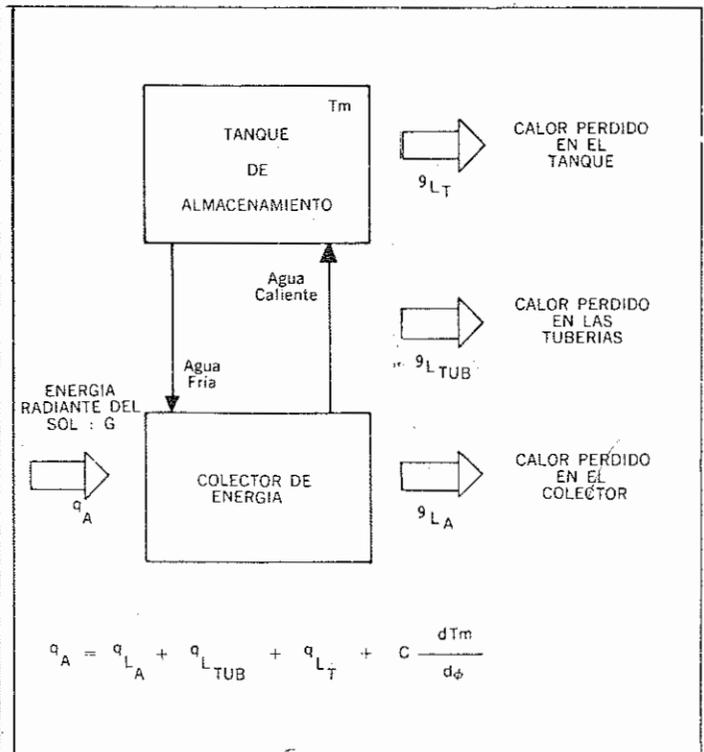
A nivel de esta opción, que puede parecer evidente, interviene el problema tecnológico del funcionamiento. Si el captador de concentración posee la ventaja termodinámica, el mismo tiene el importante defecto de ser delicado y ello por dos motivos princi-

pales:

1. La superficie reflectora debe tener una planeidad perfecta y no soporta capas de polvo, ya que las mismas difunden la radiación y destruyen la concentración.
2. La concentración precisa la alineación del eje del sistema con la radiación solar y, por consiguiente un automatismo de seguimiento.

Estos dos imperativos son prácticamente incompatibles con un funcionamiento autónomo en regiones desérticas o regiones rurales, debido a la presencia continua de arena de polvo en suspensión en el aire, y un automatismo de seguimiento particularmente elaborado y por lo mismo, sumamente costoso.

Esto nos hace pensar que para desarrollar sistemas de utilización de la energía solar en regiones rurales o desérticas venezolanas debe principalmente dedicarse al estudio de captadores planos, ya sea con el fin de calentar agua a baja temperatura para cubrir necesidades domésticas o sanitarias, ya sea para la climatización de habitaciones, ya sea para la fabricación de frío por sistemas de absorción u otros sistemas, utilizando la radiación solar, ya sea para otras aplicacio-

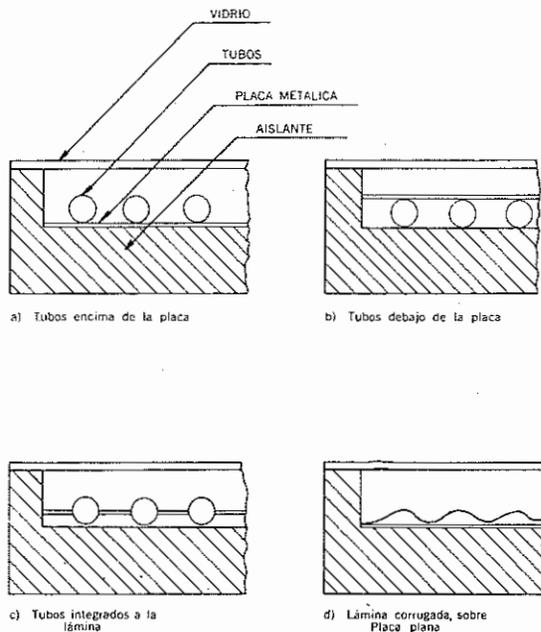


Esquema del Sistema Calentamiento de Agua.

nes como secado de frutas, destilación de agua del mar para producir agua potable para sistemas de bombeo, etc. etc.

### CAPTADORES PLANOS

Se llama así a un colector de placa plana, existiendo de diversos tipos y de distintos grados de sofisti-



Corte transversal de los tipos de colectores planos más usados.

cación. Consiste sencillamente en una placa de metal fija, negra, que absorbe los rayos del sol; existe un tipo de placa llamada, "placa sensibilizada", la cual, además de captar el calor latente, capta las radiaciones de onda corta, ya que la mayor parte de la energía solar se presenta en la forma de radiaciones de onda corta. Sobre las placas generalmente se coloca otra placa de vidrio, formando lo que se denomina un sistema de invernadero. Este sistema permite retener las radiaciones de cierta longitud de onda, haciendo que aumente la temperatura del conjunto.

### CAPTADORES POR CONCENTRACION

Este es un colector, que utiliza la concentración óptica de los rayos que llegan provenientes del sol sobre un foco o lugar donde se efectúa la transformación de calor. Generalmente son paraboloides de revolución o cilindros con sección transversal en forma de paraboloide.

### DESTILACION SOLAR

Esta es otra aplicación interesante y de primera importancia en los países en vías de desarrollo; consiste en la destilación del agua del mar, o de las aguas del sub-suelo, para producir agua potable. La destilación ha sido objeto, desde hace mucho tiempo, de estudios avanzados efectuados sobre unidades de magnitud muy variada. La más importante instalación del mundo, de este tipo, es aquella de "Las Salinas" en Chile. Construida hace dos décadas aproximadamente, ella cubre 440.000 m<sup>2</sup>, repartidos en 10 estan-

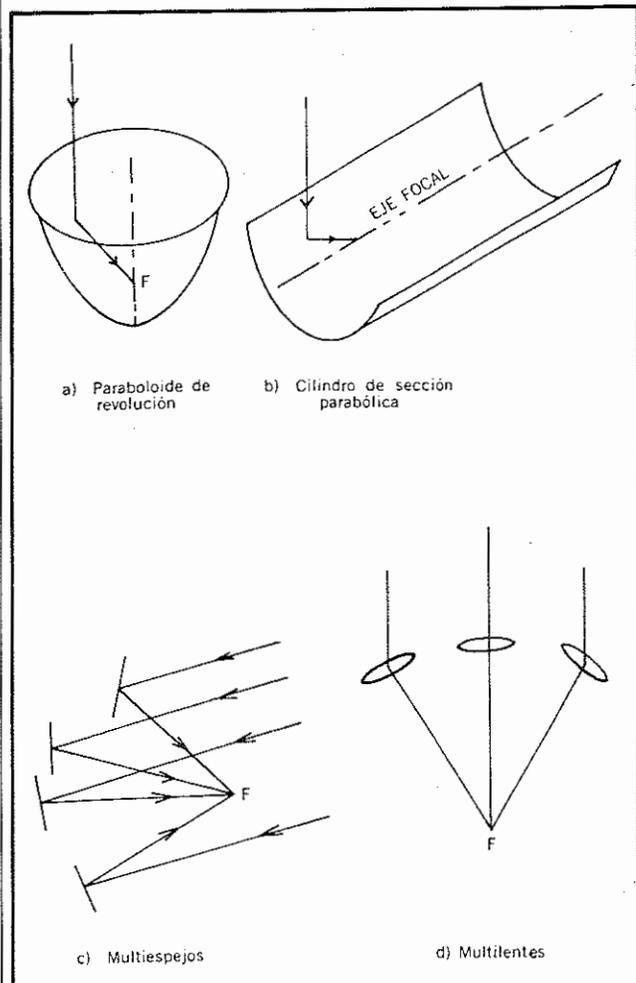
ques, para suministrar 240 metros cúbicos de agua dulce por día.

El principio de base, es siempre el mismo: el agua calentada en un invernadero, se condensa sobre la pared superior transparente e inclinada, sobre la cual ella se escurre hasta una canal colector. Las aguas así destiladas, no poseen el gusto desagradable de aquellas destiladas en los alambiques, puesto que el contacto entre el vapor, el agua condensada y el aire, es constante.

Las aplicaciones de la energía solar, en este dominio, están aún en el estado de fábrica piloto. Ciertos problemas tecnológicos se presentan aún, tal como el de mantenimiento de los circuitos debido a los depósitos que van quedando.

En escala experimental, sin embargo, varias colectividades, pequeñas, se alimentan de agua potable utilizando este método de destilación. Existe una destilería piloto de 600 mts<sup>3</sup> construida en Turkmenia. Esta suministra desde hace tres años, en promedio, de una a tres toneladas por día de agua potable destinada al consumo de las tropas. Sin embargo, la solución técnica adoptada en esta fábrica es relativamente compleja, ya que la radiación solar se concentra sobre calderas por medio de espejos parabólicos.

Estaciones de destilación de agua, existen tam-



Colectores concentradores.

bién en muchos otros países, tales como España, Túnez, Grecia, etc., que suplen de agua potable a pequeñas colectividades.

## LAS BOMBAS DE AGUA SOLARES

La facilidad relativa con la cual la energía solar puede calentar un fluido a una temperatura del orden de los 60° a los 150°C, ha impulsado a numerosos investigadores a realizar motores utilizando fluidos, de baja temperatura de ebullición. El rendimiento de tales motores no es muy elevado puesto que la temperatura de la fuente caliente es relativamente débil. Su dominio de aplicación es, sobre todo, en las instalaciones de bombeo de agua de depósitos subterráneos. Las zonas áridas de países en vías de desarrollo, ricas en sol y pobres en agua, están interesadas en ocupar el primer lugar en este género de equipamiento.

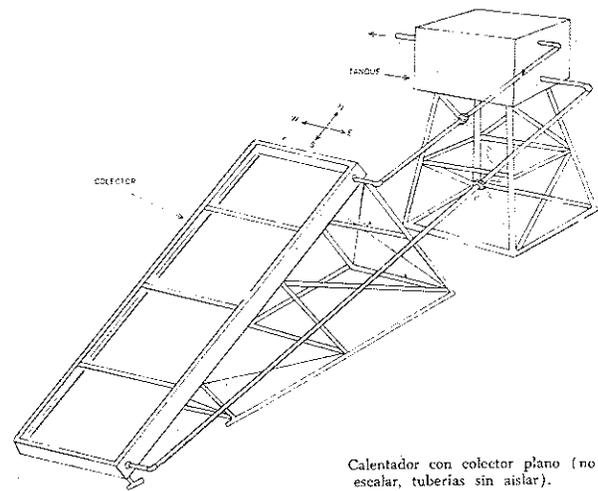
La primera realización industrial, de este género, funciona desde mayo de 1973 en Chinguetti, Mauritania, uno de los países del Africa que ha sufrido recientemente una gran sequía. Esta estación fue concebida por los establecimientos Mengin y por el profesor Masson, antiguo decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Dakar. Después de ésta, otros cuatro prototipos han sido instalados en el Senegal, en Nigeria y en el Alto Volta.

La bomba de Chinguetti alimenta en agua a una colectividad humana de cerca de 2.000 habitantes y 1 millar de cabezas de ganado. Funciona bajo la sola responsabilidad de un indígena que asegura la apertura de una válvula todas las mañanas cuando el sol calienta suficientemente.

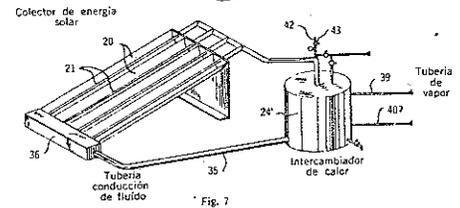
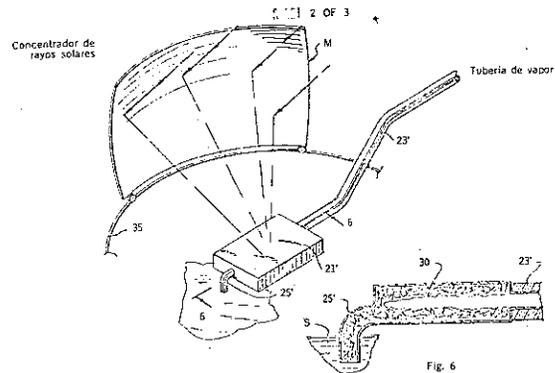
El techo de la escuela sirve de colector de energía solar y se compone de una sucesión de canales paralelos cuyo fondo está constituido por un cuerpo absorbente, placa de aluminio ennegrecida, dentro de la cual corre una canalización por donde circula el agua. El conjunto está colocado bajo un vidrio y por el efecto de invernadero el agua alcanza temperaturas de 60° a 70° C. El agua así calentada, en circuito cerrado, se lleva a un inter-cambiador en el cual cede sus calorías al fluido intermediario que en este caso es butano. El butano se vaporiza accionando un motor rotativo lento, que mueve una bomba a pistón, haciendo salir el agua desde una profundidad de 11 metros.

Este motor no provoca ningún ruido, ninguna contaminación. La superficie que recibe y recoge la energía solar cubre 88 m<sup>2</sup> y la bomba puede suministrar 10 mts<sup>3</sup> por día funcionando de 5 a 6 horas. La mayor originalidad del motor es que funciona bajo una pequeña diferencia de temperatura, 30°C aproximadamente, entre la fuente caliente y la fuente fría, con agua que no se lleva a ebullición. El costo de la instalación ha sido de 200.000 francos. El metro cúbico de agua bombeado cuesta aproximadamente un franco, el cual podría disminuirse aumentando la superficie del colector. (Francos franceses).

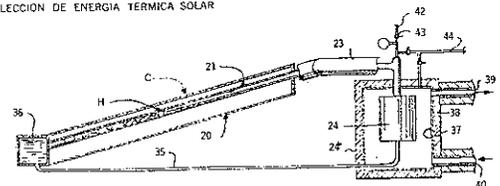
Numerosos países del Tercer Mundo se han interesado en esta técnica y así podemos encontrar



Calentador con colector plano (no a escalar, tuberías sin aislar).



SISTEMA DE COLECCION DE ENERGIA TERMICA SOLAR

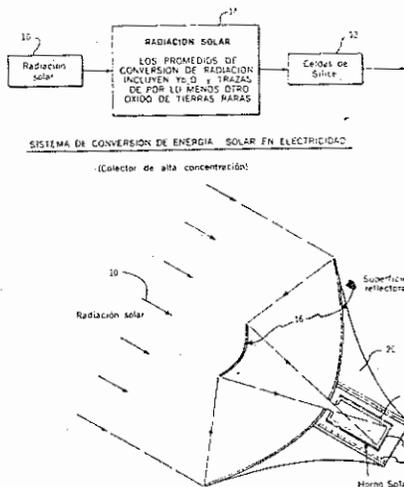


estaciones de bombeo en muchos otros, incluyendo México en Latinoamérica, el cual cuenta con 10 bombas solares en su territorio.

Dentro de la transformación termodinámica, los sistemas de concentración vienen venciendo los inconvenientes antes mencionados, otras aplicaciones tales como: cocinas solares (una cocina solar de 1 m<sup>2</sup> de superficie equivale a un calentador de 1kw y puede servir a una familia de 3 a 4 personas).

## CALDERAS SOLARES

Generalmente formadas por espejos parabólicos o cilindro-parabólicos y funcionando por reflexión,



pueden suministrar vapor de agua con presiones hasta de 10 a 12 atmósferas. Se pueden obtener, en algunas de las ya fabricadas, de 40 a 50 kg/hr de vapor sobrecalentados de 200° a 210°C. Vapor que puede utilizarse para la producción de fuerza motriz o para la producción de agua potable a partir del agua de mar. En este campo también se podría incursionar con investigaciones a efectuarse en Venezuela.

Existe también la alta concentración, que corresponde a los hornos solares (3.000°C aproximadamente) utilizados principalmente en metalurgia, por la pureza de las fundiciones obtenidas. Estos colectores con concentración, del tipo "horno solar" reposan sobre sistemas ópticos (espejos, lentes, etc.), orientados hacia el sol, obteniéndose altas temperatura y por lo tanto un buen rendimiento de conversión (rendimiento actualmente alrededor del 10 %).

En Francia se dispone del horno solar más grande del mundo en Odeillo. El espejo parabólico de Odeillo recibe las reflexiones de 63 espejos orientadores de 45 mts<sup>2</sup>, colocados en forma escalonada, atacando regiones diferentes del concentrador. Con una potencia 1.000 Kw, él permite obtener temperaturas en orden de los 4.000° C.

Las aplicaciones de este horno habían sido limitadas al dominio de la físico química a altas temperaturas, pero actualmente el laboratorio orienta sus investigaciones hacia la conversión de la energía solar en electricidad.

En la URSS, una "Central Solar" utiliza espejos montados sobre vagonetas que se desplazan sobre una órbita circular, en función del desplazamiento del sol durante la jornada para producir 1.500 kw.

En los Estados Unidos, las investigaciones se orientan sobre todo hacia los sistemas sin concentración, a las estructuras más simples. Estos colectores del tipo invernadero pueden colocarse a ras del suelo, pero las pérdidas por radiación son más fuertes y por lo tanto las temperaturas alcanzadas más bajas. Los investigadores de la Universidad de Arizona esperan obtener temperaturas superiores a 500° C para obtener, a pesar de todo, buenos rendimientos.

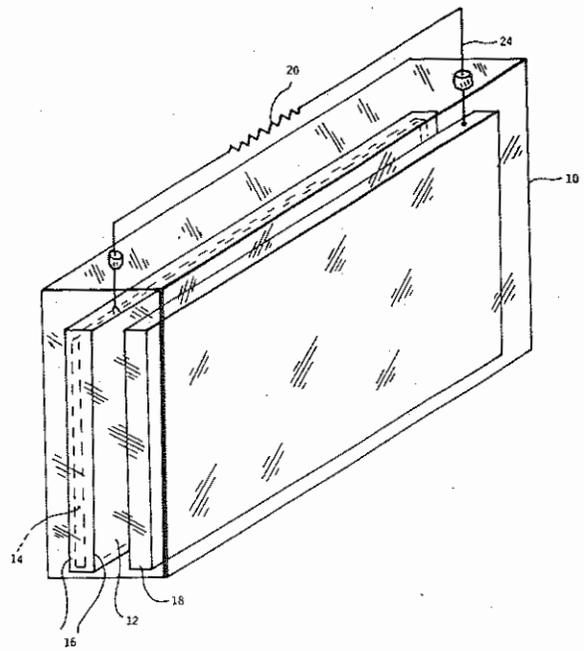
La energía solar está, en todo caso, sometida a la influencia de las condiciones atmosféricas y a la alter-

nancia del día y la noche. Este es un gran inconveniente, que implica la construcción de sistemas de acumulación de la energía para los períodos sin sol.

El almacenamiento sobre un acumulador común parece poco adaptable, en razón de su mal rendimiento y de su alto costo. El almacenamiento térmico es más interesante. El calor, transferido por un fluido, se acumula en apilamiento de materiales refractarios, que restituyen el calor almacenado en el momento oportuno. En el Laboratorio del CNRS en Francia se estudia un método que consiste en enterrar tubos dentro de los cuales circula el fluido.

b) Conversión Directa. (Luz-Electricidad: Luz-Energía Química, etc.).

Este tipo de conversión, ya sea por efecto fotovoltaico o termo-electrogenerador, está aún al estado del laboratorio o de un empleo industrial reducido. Llegar a la utilización industrial bajo este tipo de conversión resulta demasiado costoso y no se justifica sino para el caso de bajas potencias (1 a 2 CV). Investigaciones sobre diferentes tipos de conversión directa: termo-eléctrica, termoiónica, fotoeléctrica, etc., se desarrollan actualmente en el mundo aún bajo la complejidad matemática, física, etc., que presentan y lo prohibitivo de sus costos. Bien podría iniciarse



CONVERTIDOR FOTO - REGENERATIVO EN ENERGÍA ELECTROQUÍMICA

Conversión de energía radiante incidente en energía eléctrica por utilización de una celda galvánica reversible fotoquímicamente, a través de los electrodos (ánodo y cátodo) completando el circuito electroquímico.

en el país al menos la enseñanza teórica de estos temas o la formación de nuestros técnicos en el exterior sobre estos campos.

## LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

Si para todas las utilizaciones domésticas, los sistemas solares se aseguran ya competitivos, no suce-

de lo mismo a la hora actual con la producción de electricidad. Dos grandes centrales se consideran en el porvenir: la central termodinámica (hornos solares) y la central fotovoltaica.

Esta última, gracias a la cual la radiación solar se transforma directamente en corriente continua, ha sido colocada en primer plano por las experiencias espaciales, donde paneles de fopilas al silicio han equipado los satélites y otros aparatos especiales; más sin embargo en el dominio espacial el costo tiene poca importancia, mientras que, en el terrestre, él es primordial.

En la actualidad existen algunas realizaciones al respecto: en Japón, varias instalaciones se experimentan para alimentar postes aislados. En el Departamento de Nagasaki, un faro automático está equipado de pilas solares de 300 wattios. En Francia, algunos radio-faros funcionan también con la ayuda de foto-pilas.

De hecho, todos los trabajos de investigación sobre las foto-pilas (celdas fotovoltaicas) han estado orientados en el sentido de una alta eficiencia y tamaño, y abaratamiento de los costos de producción. Se observa ciertos cambios. Al lado de las pilas de silicio, han aparecido en los últimos años las celdas en capas delgadas, en las cuales los materiales son el sulfuro o el telurio de cadmio.

Estas celdas se adaptan mejor que las de silicio a la fabricación en serie. Su rendimiento, del orden del 8 al 10 0/o, puede aún mejorarse considerablemente. Investigaciones en este sentido se efectúan activamente en Francia en la actualidad.

Si tales celdas llegan a fabricarse un día en gran serie y a precios de costo mucho más bajo, resultará ciertamente una revolución en la forma y manera de utilizar la energía solar. Es por eso, que los especialistas fundan las más serias esperanzas sobre este tipo de central de conversión, pensando que su competitividad se alcanzará antes de 1990.

Nosotros entramos, ciertamente, en un período en el cual la energía solar ha dejado de ser considerada sólo por personas entusiastas. Su potencial comienza a ser reconocido a los más altos niveles en los países industrializados. Así en marzo de 1973 un informe publicado por la NASA y la US National Science Foundation, define las etapas que permiten a esta energía llegar a ser, en unos 50 años, una de las principales.

En este programa, la conversión directa en electricidad no ha recibido un grado de prioridad elevado, ya que numerosos especialistas piensan que en materia solar, las economías de escala no tienen sentido, es decir que una pequeña central no será menos eficiente que una gran central y además se preguntan, si se debe considerar la producción de electricidad solar solamente a partir de centrales que sean comparables con las actuales.

Por lo anterior, los expertos estiman que al fin del presente siglo el sol puede asegurar hasta el 35 0/o del calentamiento y la climatización de inmuebles, 30 0/o del aprovisionamiento en gas (producción de combus-

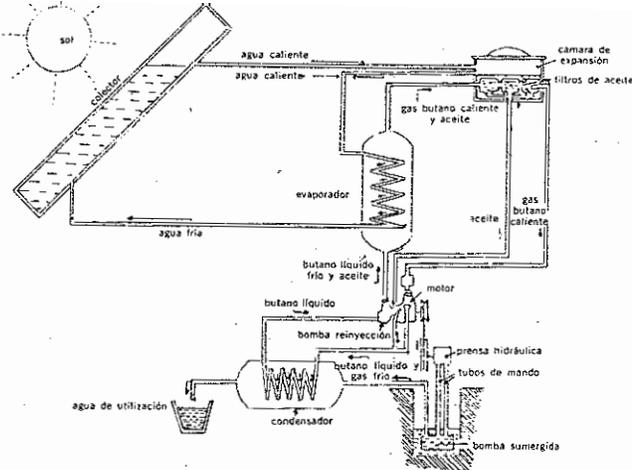
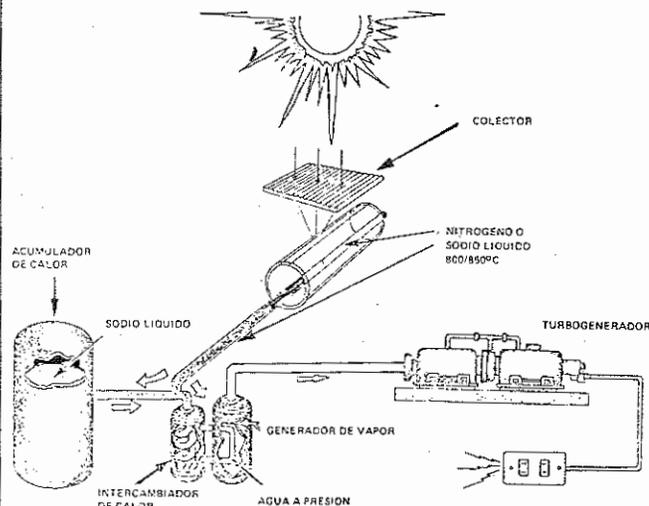


Diagrama de funcionamiento de una bomba solar.



tibles propios a partir de desechos orgánicos) y, hacia el año 2020, 20 0/o de la producción de corriente eléctrica.

### c) Las soluciones exóticas: Fotosíntesis o Síntesis Fotoquímica.

Consiste en utilizar la radiación ultravioleta del sol para fabricar un cierto número de productos, principalmente textil-plásticos. La radiación ultravioleta puede obtenerse por lámparas, mas, a potencia comparable, el rendimiento de una lámpara es muy inferior al de las instalaciones de fotosíntesis solar. Además las lámparas ultravioletas son extremadamente costosas, teniendo una duración de aproximadamente 2000 horas de servicio y su rendimiento no sobrepasa al 10 0/o.

Con la síntesis fotoquímica solar se puede obtener, con una potencia correspondiente a una lámpara de 18 kw, una tonelada de textil plástico por metro cuadrado de instalación y por año. Es posible comparar este rendimiento, si no se considera esta comparación más que como una forma teórica, al rendimiento del metro cuadrado de un cultivo de algodón, que es del orden de los 500 gramos, mas aquí, la fotosíntesis natural es efectuada por la planta. Es de esperar que la fotosíntesis solar permitirá en un futuro, la fabricación de toda una gama de productos y que las

instalaciones necesarias, aún cuando muy ventajosas con relación a las lámparas de la misma potencia, lleguen a ser menos costosas.

## EL ALMACENAMIENTO POR CAMBIO DE ESTADO

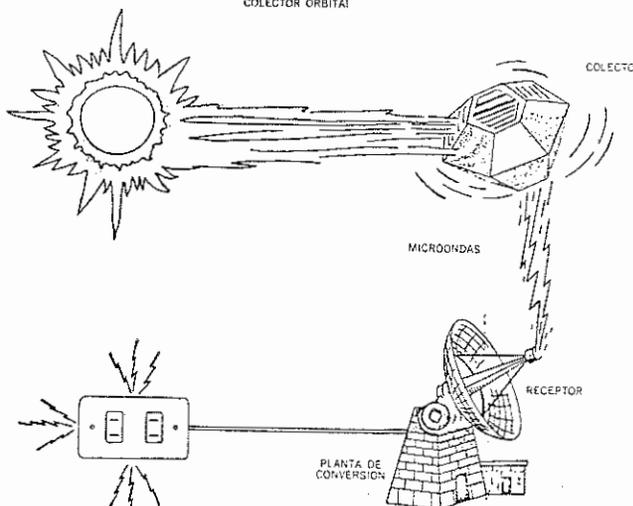
Este proceso ha sido estudiado ya y él aprovecha las propiedades de las sales eutécticas, de absorber y restituir el calor según que pasen de la fase líquida a la fase sólida e inversamente.

Una posibilidad sería la de utilizar metales como el sodio. Un proyecto de central de 1.000 megawattios se estudia actualmente en los Estados Unidos. Colectores del tipo invernadero recogerán la energía sobre una superficie de 35 kilómetros cuadrados, en estos invernaderos se encontrarán canalizaciones por las cuales circula el sodio líquido a una temperatura de más de 800° C. El servirá para alimentar un intercambiador de calor que producirá vapor, o un sistema de almacenamiento basado en las propiedades de las sales eutécticas.

## UNA CENTRAL EN ORBITA

El Proyecto de central solar más espectacular, es incontestablemente el propuesto por la firma americana Arthur D. Little y su Director P. Glaser. El concierne, nada menos que un satélite gigante, productor de energía, en órbita alrededor de la tierra. ¿Ciencia ficción? Puede ser, pero la idea ha sido tomada muy seriamente por la NASA, la cual le consagrará aproximadamente 6 millones de dólares. En el espacio se reúnen, en efecto, las condiciones más favorables para la conversión de la energía solar.

La máquina, que mediría más de 10 kilómetros de largo y 5 de ancho, pesaría de 10.000 a 13.000 toneladas, se mantendría en órbita geoestacionaria a 35.000 kilómetros de la tierra. Dos paneles solares formados de celdas de silicio, análogas a aquellas utilizadas en las experiencias espaciales, pero cada una de 25 kilómetros cuadrados, serían colocadas de lado y lado de una antena central, de un kilómetro de diámetro, asegurando, después de la conversión en micro ondas hertzianas, la transmisión a tierra. Recogi-



das por una antena de 7 kilómetros de diámetro, la energía hertziana se transformaría de nuevo en corriente continua industrial.

La puesta en práctica de este proyecto presenta dificultades considerables, tomando en cuenta, particularmente, la instalación en el espacio de una máquina de tales dimensiones. De otra parte será preciso asegurarse que las micro ondas en cuestión, no produzcan problemas a la vida animal o humana ni a las telecomunicaciones.

## IMPACTO SOCIAL DE LA ENERGIA SOLAR

El ritmo impetuoso del desarrollo industrial hace que el consumo de energía se doble aproximadamente cada 10 años, de forma que el problema comienza a preocupar a los ingenieros, a los hombres de gobierno, etc.

La crisis actual, hace aún más aguda la necesidad de la diversificación de las fuentes de energía. La voluntad de reducir el despilfarro de las energías llamadas gratuitas, las necesidades energéticas de los países no productores de petróleo, desarrollados o no, la necesidad de la protección del medio ambiente, todo esto explica el porqué del aumento de interés por la energía solar.

Seiscientos investigadores reunidos en París en julio de 1973, bajo el patrocinio de la UNESCO, en el Congreso: "El Sol al Servicio del Hombre", fueron unánimes en incitar a los gobiernos de acordar a los investigadores y a todos los planes de desarrollo energético no convencionales, los medios de financiamientos suficientes.

Qué desproporción, en efecto, entre la importancia de la energía entregada a la superficie del globo y la insignificancia de los medios puestos en ejecución, hasta el momento, para captarla y utilizarla.

En verdad no es hoy que se comienza o se busca a captar la energía solar directamente; mas, para que el problema empiece a ser considerado en toda su amplitud han sido necesarias dos condiciones esenciales, actualmente realizadas:

- De una parte, un estimulante de orden económico constituido por las necesidades en energía bastante crecidas que justifican las investigaciones largas y costosas.
- Por otra parte, un nivel suficientemente elevado de la ciencia y de la técnica, dado que los dispositivos para aplicaciones de la energía solar hacen un llamado a todas las últimas realizaciones de la óptica, de la mecánica, de la automatización, de la electrónica, etc.

La energía nuclear, que en verdad no ha terminado de darnos sorpresas, prácticamente apenas ahora inicia su desarrollo. Un misero de uranio en su puesto produce una materia prima energética, conteniendo hoy 20, más tarde 200 y puede ser 2.000 veces más Kwh que su camarada el carbón, está limitada en

su tiempo de utilización. La energía solar, a pesar de sus dificultades actuales, abre perspectivas más ricas y puede representar más tarde la sola fuente de energía. Las estimaciones más recientes fijan en efecto en 50.000 millones de años la duración de la radiación solar, mientras que los stock de combustibles son muy bajos en comparación (200 años aproximadamente).

La energía solar ofrece ventajas, tales como:

- Su poca peligrosidad para manejarla debido a su baja densidad.
- Considerable y no contaminante, puesto que su conversión no engendra ningún subproducto, ni siquiera una contaminación térmica, inevitables en los otros métodos de producción a partir de combustibles fósiles.
- No necesita ser transportada, puesto que está en todas partes y disponible en el lugar mismo del consumo, lo cual es de gran importancia en el caso de regiones apartadas (rurales).

Sin embargo las anteriores ventajas son contrapesadas por factores negativos como:

- Su variabilidad: aunque se puede predecir el promedio anual de energía que se recibirá, no es posible asegurar una cantidad dada de energía para un momento dado. Además es intermitente: varía con la hora del día, con la época del año y con factores climatológicos y geográficos locales.
- Su baja densidad (cantidad de energía por unidad de área) conduce a la utilización de superficies relativamente grandes, lo cual restringe su uso, y
- Actualmente el alto costo inicial que es necesario cubrir para su utilización.

A pesar del interés despertado, los países técnicamente desarrollados están lejos aún de efectuar aplicaciones de la energía solar; mientras se puedan encontrar combustibles y las esperanzas sobre la energía nuclear sigan creciendo, la explotación de la energía solar estará limitada a la economía de combustible, allá donde sean suficientes las bajas temperaturas, a las experiencias de laboratorio y a las fábricas-piloto para el porvenir.

Colocar el aprovechamiento de la energía solar en el lugar de los combustibles líquidos o gaseosos, conduce, en efecto, a regresar profundamente nuestra civilización técnica. Esta se ha desarrollado bajo el signo de la concentración. Concentración de la producción de energía, como de aquella de los bienes manufacturados, sobre todo con la llegada de la energía atómica. Esencialmente difusa, la energía solar no podrá alimentar grandes complejos industriales, ni centros urbanos tentaculares. Las máquinas solares, al menos a corto y mediano plazo, conducirán probablemente a resultados inversos, traduciéndose por una gran cantidad de elementos de pequeña potencia que producirían dispersión de la población hacia las zonas de débil densidad.

Esta forma de aplicación normal que tomaría, al

principio al menos, la energía solar, está indicando las zonas de preferencia para su empleo. Ella es verdaderamente el maná de los desiertos; no habría necesidad de líneas de transporte para fuerza a alta tensión, de intermediarios comerciales, pues la energía solar estaría allá exactamente donde se encuentra el que la utiliza o la necesita.

### Rendimiento de las Aplicaciones de la Energía Solar y Punto de Vista Económico

Sobre el plano económico, el rendimiento en la transformación de energía, toma un valor capital. El mejor rendimiento obtenido con la energía solar es el de las fotopilas (celdas fotovoltaicas) que puede llegar hasta el 14 0/o, más cuyo promedio se establece en un 10 a 11 0/o.

En términos económicos, es evidente que, en el caso de la energía solar, sólo debe tenerse en cuenta la inversión necesaria para la instalación de la transformación, puesto que la energía es gratuita y prácticamente inagotable, mientras que en el caso de los combustibles fósiles, tal como el carbón por ejemplo, el costo de la energía primaria debe contabilizarse.

Además, en el análisis de costos, resulta interesante y oportuno señalar las diferencias en características, entre el equipo movido por energía solar y el tradicional accionado por combustibles o por electricidad, en el caso por ejemplo del bombeo de agua en regiones rurales o desérticas. Caso típico este de las instalaciones en México.

- 1) Las zonas desérticas, por lo general, no disfrutan de carreteras para el transporte de los combustibles que requiere el equipo de bombeo de agua, pues el costo de construcción de un kilómetro de carretera es enormemente alto; mientras que el sol proporciona la energía necesaria sin costos de conducción y transporte.
- 2) Los motores de combustión interna necesitan constante vigilancia y mantenimiento por parte de mecánicos especializados, de sueldos muy altos, acostumbrados a las comodidades de la ciudad, inexistentes en las zonas desérticas; por lo que, ni aún retribuyéndolos con sueldos elevados están dispuestos a cambiar sus residencias urbanas a esos lugares. Para muchos este problema parecerá secundario, pero es la realidad. En algunas ocasiones las instalaciones han sido abandonadas a veces por falta de una simple pieza o por no disponerse de alguien, conocedor del equipo. En la operación de una planta solar de bombeo, basta con un vigilante sin la menor preparación técnica, cuya labor casi se concretará a un acto tan sencillo como el de abrir una válvula a la salida del sol y cerrarla al terminar la tarde.
- 3) Comparando las plantas de bombeo solares con

plantas de energía eléctrica, se puede decir que las primeras no están actualmente en situación competitiva en lugares donde ya existe electricidad disponible. Sin embargo, en donde se presenta el inconveniente de tender una línea eléctrica a una distancia de 10 kilómetros o más para plantas de 1 kw, y a más de 50 kilómetros para plantas de 50 kw, la solución de la energía solar es bastante superior.

En materia de rendimiento de la instalación de transformación de energía, se obtendrán, en un futuro, ciertamente, progresos significativos, aun en las tres formas de conversión actualmente conocidas, pero principalmente en la conversión directa y en la fotosíntesis, en las cuales las esperanzas que ellas reservan justifican mejor los créditos de inversión necesarios.

Sin embargo, considerando las posibilidades en Venezuela, para el desarrollo de la energía solar, y su justificación económica (se toma como ejemplo solo la utilización a baja temperatura: producción de agua caliente), se puede hacer la siguiente consideración: si solamente el 10 % de los 2 millones de habitantes que tiene Caracas, usaran un promedio de energía de 1 kwh/día-persona, de los 5 kwh/día m<sup>2</sup> que recibe Caracas anualmente, se ahorraría en energía eléctrica (tomando a Bs. 0,25 kwh) durante un año (360 días/año) la siguiente cantidad:

$$\begin{array}{rcl}
 1 \text{ kwh} & & \\
 \text{día/persona} & \times 2.000.000 \text{ persona} & \\
 & & \\
 \text{días} & \text{Bs.} & \\
 \times 360 & \times 0,25 & \times 0,1 \\
 \text{año} & \text{Kwh} & \\
 & & \\
 & \text{Bs.} & \\
 = 18.000.000 & & \\
 \text{Año} & & 
 \end{array}$$

Naturalmente, la inversión inicial tendría que tomarse en cuenta como depreciación y además incluir los costos de mantenimiento para hacer una comparación económica real, sin embargo, el anterior ejemplo muestra que esta fuente de energía debe ser tomada en cuenta para ahorrar en parte nuestra valiosa riqueza en hidrocarburos.

#### Investigación Sobre Energía Solar en la Universidad de Carabobo

Siendo Venezuela un país tropical y como tal con la ventaja de que los niveles de radiación solar durante el año varían poco, lo cual permite un uso menos discontinuo de los equipos que trabajan con energía solar, debe pensarse seriamente en iniciar verdaderos programas para la utilización y comercialización de aparatos que trabajen con este tipo de energía en diversas aplicaciones: investigación a nivel de indus-

tria manufacturera.

La Universidad de Carabobo, conjuntamente con aportes de la empresa CADAFE, desarrolla actualmente un estudio para la construcción de calentadores solares que produzcan agua caliente en pequeña y mediana escala; y un estudio para diseño y construcción de pequeñas plantas de climatización que trabajen con energía solar. Según los resultados que se obtengan, se procederá a la comercialización de los modelos investigados en los dos casos.

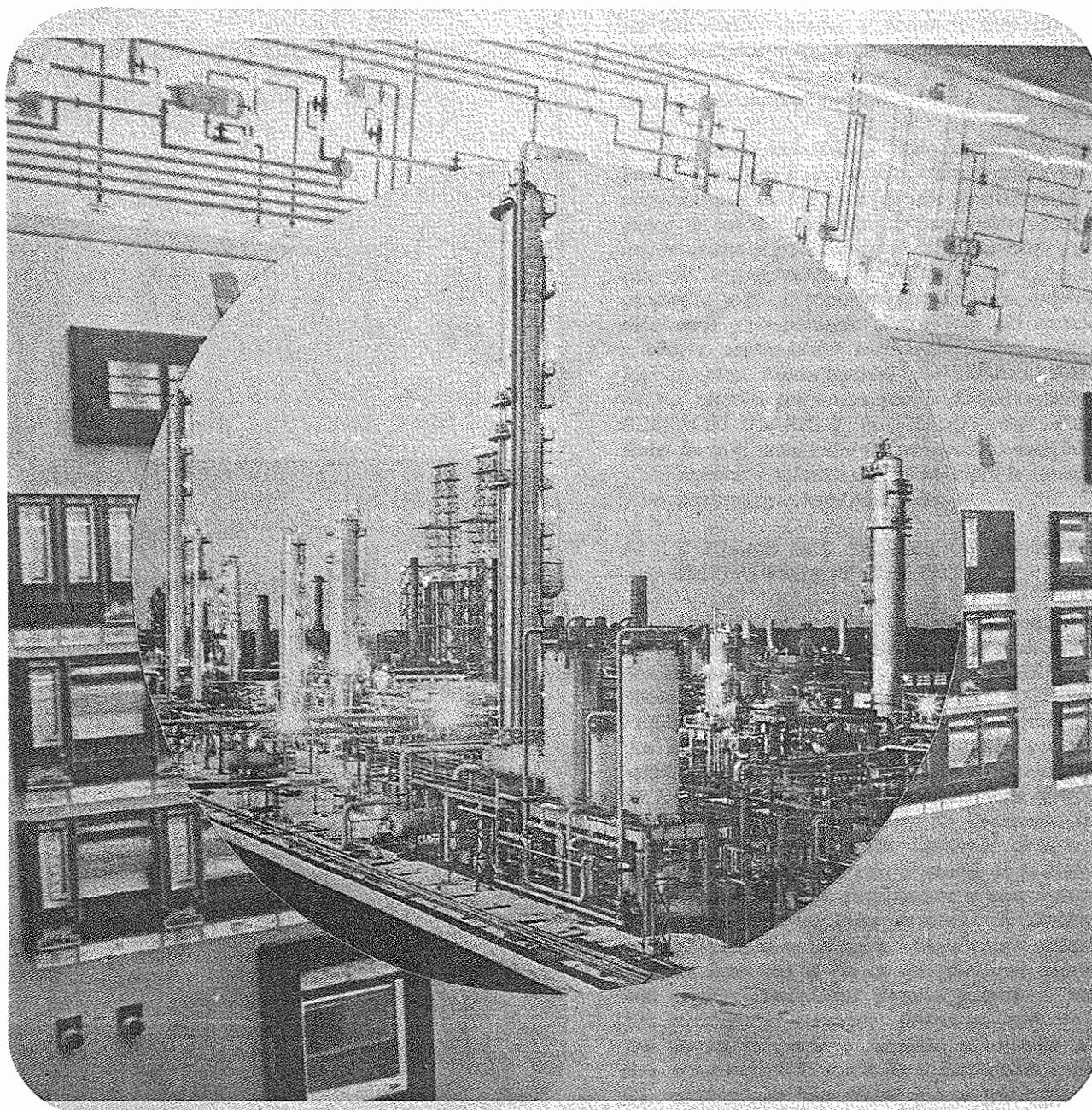
El propósito fundamental es el de reunir experiencias y conocimientos que permitan formar un juicio más real, sobre las posibilidades de aplicación en Venezuela, principalmente en las zonas rurales, sin excluir las zonas urbanas, de estos tipos de calentadores y plantas de acondicionamiento de ambientes. Sin embargo este proyecto permitirá también, interesar a un gran grupo de profesores, estudiantes de ingeniería y otro personal técnico, en estos temas de la energía solar; además, el obtener toda una serie de referencias bibliográficas y equipos para iniciar otras investigaciones de mayor alcance sobre este campo.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, mediante convenio que se prepara actualmente con la Fuerza Aérea Venezolana, está desarrollando la construcción, en Valencia, de una estación bien equipada para observaciones meteorológicas, en general, e investigaciones de energía solar, lo cual le permitirá iniciar la construcción de un centro de estudios de energía solar y eólica, donde puedan desarrollarse todo tipo de pruebas de campo. Este centro le permitirá también establecer programas de estudios avanzados sobre estos temas.

#### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1) Energy Primer: Solar, water, wind and BioFuels. Ed.: Tricke Parks Pressine. Tremont, California.
- 2) Energies Nouvelles: L' énergie solaire. Ed. Délégation aux Energies Nouvelles, C. N. R. S. France.
- 3) Sunspots: Steve Baer. Ed. Zomeworks Corporation Albuquerque, New Mexico.
- 4) La Houille D'or: Marcel Perrot. Colección: Le Bilan de la Science. Ed. Imprimerie Croutzet. Paris.
- 5) Les Nouvelles sources d' énergie Science et vie, número: Hors Serie Nº 110.
- 6) La energía solar, su desarrollo y su utilización en Venezuela: Misael Pabón Díaz. Primer Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología. Caracas, julio 1975.
- 7) Revista de la Asociación Nacional de Industriales. Colombia Nº 17 de 1973.
- 8) Chemical Engineering Progress. Nº 7 volumen 71, julio 1975.
- 9) Material no publicado. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad de Carabobo.

# Oferta y Demanda Petrolera Mundial a Mediano y Largo Plazo



La validez de los pronósticos sobre la oferta y la demanda petrolera mundial, obviamente depende de las premisas que se adopten, y en especial, de que éstas sean un fiel exponente de la situación que se confrontará. Esto, por supuesto, no es nada fácil y en consecuencia resulta ser sumamente difícil descartar o rebatir con plena certeza la validez de los pronósticos que se hagan. La presencia de imponderables de orden político, tecnológico y económico, es determinante al respecto.

Los pronósticos a corto plazo, por razones obvias, son más precisos que los de largo plazo; sin embargo tienen la gran desventaja de que no permiten detectar a tiempo cualquier situación crítica que pueda presentarse en un futuro más lejano. Esto, lógicamente, es muy importante saberlo con suficiente anticipación sobre todo cuando se refiere a un sector tan vital, vulnerable y complejo como lo es el sector energético, en razón primordialmente de que la realización de sus proyectos suele requerir de un tiempo bastante prolongado.

En años recientes han sido publicados varios estudios relativos a este asunto. Consideramos que el conocimiento de los aspectos más resaltantes de algunos de estos estudios es una condición absolutamente necesaria para formarnos una idea clara y precisa del tema en discusión, y para poder emitir con propiedad y pleno conocimiento de causa, una opinión seria y responsable al respecto. En atención a ello, a continuación analizaremos sucintamente los aspectos fundamentales del informe WAES, de un estudio preparado por la firma consultora SHERMAN CLARK Y ASOCIADOS, del informe anual de la Exxon sobre las perspectivas energéticas y del conocido informe de la CIA sobre la situación y perspectivas petroleras mundiales.

#### I- INFORME DEL "WORKSHOP ON ALTERNATIVE ENERGY STRATEGIES"

Uno de los estudios más serios, completos e imparciales que ha aparecido en años recientes sobre este tema, lo es el preparado por el WAES, publicado en un libro titulado: "ENERGY GLOBAL PROSPECTS 1985-2000". Este fue el producto de dos años y medio de trabajo realizado por unos estudiosos del problema energético, provenientes de los principales países consumidores de petróleo del mundo, así como también de Venezuela, Irán y México, los cuales están ligados a organismos de investigación científica en el campo de la energía, a gobiernos de países productores y consumidores de petróleo y a compañías petroleras. Sin embargo, su participación en el mismo fue a título personal. Esto se hizo con el fin de que pudieran expresar con mayor libertad sus propios puntos de vista. Las conclusiones adoptadas fueron el producto de una amplia discusión y consenso al respecto y es ésto, precisamente lo que le ha convertido en uno de los estudios más imparciales que se hayan podido

#### MEDIUM RANGE WORLD DEMAND AND SUPPLY OF PETROLEUM

The uncertain political, technological and economic situation in the future is of prime importance in determining the validity of attempts to foresee the future supply and demand of petroleum at world level. Short-range estimates are obviously more reliable than long-range forecasts, but they have the disadvantage of not allowing one to foresee a critical situation that could present itself in the more distant future.

As this is of fundamental importance in a field so vital and so complex as that of energy, the present article is of particular interest, as it deals with various studies of this problem. It contains a succinct analysis of the principal chapters of the WAES report; of a study prepared for the consultant firm of SHERMAN CLARK ASSOCIATED; of the yearly report of Exxon on future energy prospects, and the CIA report on world petroleum situations and perspectives.

elaborar sobre este tema lo cual, por razones obvias, es sumamente importante.

La conclusión general de este estudio es que: "para antes del año 2000 y más probablemente para el período comprendido entre 1985 y 1995 la oferta petrolera no cubrirá la creciente demanda, aún en el caso de que los precios de la energía se incrementen en un 50 por ciento por encima de los niveles actuales, en términos reales". Esto último se refiere al precio de \$ 11,50/B prevaleciente para el 1o. de enero de 1976.

Las premisas del estudio en cuestión son bastante variadas y flexibles. Así, por ejemplo, suponen:

- (1) Dos tasas de crecimiento económico. Una alta (5,2 %) y una baja (3,4 %) para el período 1975/85 y una alta (4 %) y otra baja (2,8%) para el período 1985/2000.
- (2) Una relación entre el crecimiento del consumo de energía y del Producto Nacional o Mundial Bruto del orden de 0,85. Este es uno de los elementos claves para cualquier proyección de la demanda y la cifra indicada es considerada como muy razonable.
- (3) Cuatro niveles de producción por parte de los

países miembros de la OPEP, a saber:

- (a) OPEP limita su producción hasta 33 MMb/d. Esto supone una producción para Arabia Saudita del orden actual.
- (b) OPEP limita su producción hasta 40MMb/d. Ello supone una producción para Arabia Saudita del orden de 15 MMb/d.
- (c) OPEP limita su producción hasta 45MMb/d, lo cual supone una producción para Arabia Saudita de 20MMb/d.
- (d) OPEP no limita su producción y ésta alcanza la máxima capacidad disponible.
- (4) Las reservas brutas agregadas cada año serán del orden de los 10 mil a 20 mil millones de barriles. Estas cifras se consideran bastante razonables, si se tiene en cuenta que durante las últimas décadas éstas han sido del orden de los 15 mil a 20 mil millones al año.
- (5) Precios petroleros en términos de valor del dólar para 1975:
  - (a) descendiendo hasta \$7,66/B en 1985
  - (b) constantes al nivel de \$11,50/B.

CUADRO No. 1

Mundo: Años en que según WAES los máximos niveles de producción previsto no cubrirán la demanda futura, e indicación de las principales premisas adoptadas al respecto

	1981	1983	1989	1989	1990	1994	1997	2004
Tasa Crec. Econ.								
Alta (5, 2-4,0%)	X			X	X		X	
Baja (3, 4-2,8%)		X	X			X		X
Producción								
Limitada OPEP (33MMBD)	X	X						
Limitada OPEP (40MMBD)			X					
Limitada OPEP (45MMBD)				X				
Sin Límite OPEP					X	X	X	X
Reservas Brutas Agregados/Años								
20 Mil Millones	X	X		X			X	X
10 Mil Millones			X		X	x		
Precios Pet. (Reales 1975)								
Subiendo hasta 17,25	X			X	X		X	
Constante (11,50)		X	X			X		X

(c) ascendiendo hasta \$17,25/B durante 1975/85 o 1985/2000.

- (6) Adopción de una política vigorosa o pasiva por parte de los gobiernos de los países consumidores en materia de conservación y desarrollo de fuentes alternas de energía.
- (7) La energía que principalmente reemplazaría al petróleo sería la nuclear o la del carbón.

El estudio arroja un buen número de resultados, dependiendo de la combinación de premisas adoptadas. El cuadro No. 1 resume las más importantes:

En términos generales, ellas indican lo siguiente

- (1) Si OPEP limita su producción hasta 33MMb/d., la oferta petrolera mundial sólo alcanzará para cubrir la demanda prevista hasta 1981 ó

1983.

- (2) Si OPEP limita su producción de 40 a 45/MM b/d, la oferta petrolera mundial sólo alcanzaría para cubrir la demanda prevista hasta 1989.

- (3) Si OPEP no limita su producción y ésta sólo se ve restringida por factores de orden técnico, la oferta petrolera mundial, dependiendo de la manera como se combinen las otras variables, sólo alcanzaría para cubrir la demanda prevista hasta el año 1990 en el peor de los casos, o hasta el año 2004 en el mejor de los casos.

En el Cuadro No. 2 se recogen los niveles de producción y demanda petrolera mundial para el período 1980/2000 correspondiente a los dos casos extremos más probables, resultantes del estudio de la WAES.

## CUADRO 2

Mundo: Estimación de los Niveles de Producción y Demanda Petrolera según WAES, 1980/2000  
(Millones de Barriles Diarios)

	CASO C-1 PRODUCCION				Déficit (Caso sin Límite)
	Demanda	Lim.OPEP 33(MMBD)	Lim. OPEP 45(MMBD)	Sin Límite OPEP	
1980	55	55	55	55	-
1985	64	57	64	64	-
1990	73	58	71	73	-
1995	83	59	71	83	-
2000	93	58	70	81	12

	CASO D-8 PRODUCCION				Déficit (Caso sin Límite)
	Demanda	Lim.OPEP 33(MMBD)	Lim.OPEP 40(MMBD)	Sin Límite OPEP	
1980	51	51	51	51	-
1985	57	54	57	57	-
1990	62	53	61	62	-
1995	69	53	60	62	7
2000	75	52	58	53	22

CASO C-1 Supone: Una alta tasa de crecimiento (5,2-4%); 20 mil millones de Reservas Brutas agregadas por año; Precios petroleros subiendo hasta 17,25 en términos reales con respecto al nivel de 11,50 expresado en dólares de 1975, una política vigorosa en materia de conservación, etc., por parte de los gobiernos; el petróleo será sustituido principalmente por el carbón.

CASO D-8 Supone: una baja tasa de crecimiento (3,4-2,8%); 10 mil millones de reservas Brutas agregadas por año; Precios petroleros constantes al nivel de 11,50 expresado en dólares de 1975; una política en materia de conservación, etc., poco receptiva por parte de los gobiernos; el petróleo será sustituido principalmente por la energía nuclear.

El caso que supone un máximo nivel de demanda y producción mundial, arroja un déficit de 12 millones de barriles diarios para el año 2000.

El otro caso arroja un déficit de 7 y 22 millones de b/d para 1995 y 2000, respectivamente.

Finalmente, es de hacer notar que el informe de la WAES supone, en términos generales, que en lo que resta del presente siglo no se podrán desarrollar plenamente otras fuentes alternas de energía, por lo que su contribución no será determinante al respecto. Esta premisa también sirve de base a los otros estudios que analizaremos.

Un último señalamiento importante es que este informe no considera para nada cualquier incidencia petrolera del bloque socialista.

## II. INFORME DE SHERMAN H. CLARK Y ASOCIADOS:

La firma consultora arriba mencionada ha preparado un estudio sobre el tema en referencia, el cual ha sido recogido en un folleto titulado: "Evaluation of World Energy Developments and their Economic Significance".

La conclusión general que se desprende del mismo es que la oferta de petróleo convencional en el mundo occidental se situará por debajo de su demanda para mediados de la década de los ochenta. Sin embargo, las exportaciones soviéticas a occidente y el surgimiento de nuevas fuentes petroleras, contrarrestarán esta situación.

Las premisas de este estudio son las siguientes:

- (1) Tasas de crecimiento económico de 4,8 % para 1976/80, 3,6 % para 1980/85, de 3,0 % para 1985/90 y de 2,8 % para 1990/2000.
- (2) Una relación entre el crecimiento del consumo de energía y del producto nacional bruto de 0,85 durante 1976/80; 0,83 durante 1980/85, 0,73 durante 1990/2000.
- (3) La producción petrolera de los países miembros de la OPEP será del orden de los 34MMb/d. Ello supone una máxima producción por parte de Arabia Saudita del orden de los 10 a 11MMb/d, pudiendo alcanzar picos trimestrales del orden de los 14 a 15 MMb/d. El informe considera que es irrealístico esperar un nivel de producción para la OPEP de 40 o más millones de barriles diarios.
- (4) En cuanto al nivel de reservas brutas agregadas cada año, se muestra pesimista y se concreta a señalar que: "Parece haber mucho, menos petróleo por ser descubierto en el

mundo libre de lo que tendrían a indicar las experiencias de la década de 1950 o de 1960". Apunta que las fallidas expectativas de algunas áreas importantes del mundo, entre ellas el Artico y el Mar de la China, más bien plantean la posibilidad de que las reservas potenciales sean modificadas substancialmente hacia abajo. En conclusión, supone que no se producirán cambios inesperados en la tasa de descubrimientos.

- (5) Supone niveles de precios cuyo crecimiento iría desde cero hasta un 7 % en términos reales durante el período 1976/2000. (5 a 12 % en términos nominales). Sin embargo, considera como más probables los siguientes:

(a) Un aumento de un 3 % (6 % nominalmente) durante el período 1976/80. Esto implicaría un precio real para este último año de \$14,40/b.

(b) Un aumento de un 5 % (10 % nominalmente) durante el período 1980/85. Ello implicaría un precio real para este último año de \$23,20/b.

(c) Un aumento de un 3 % (8 % nominalmente) durante el período 1885/90. Ello implicaría un precio real de \$34,10/b para este último año.

(d) Un aumento de un 3 % (8 % nominalmente) durante el período 1990/2000. Ello implicaría un precio real de \$74/b para este último año.

(e) Supone la adopción de una actitud positiva por parte de los gobiernos de los países consumidores en materia de conservación y desarrollo de otras fuentes de energía.

El Cuadro No. 3 en el que se recoge una comparación de los niveles de producción y demanda petrolera mundial más probables, derivados de los informes analizados, revela que según Clark se producirían en el mundo no comunista un déficit de petróleo convencional en 1985, el cual crecería desde 2.9 MMb/d hasta 4,5 y 10,7 MMb/d en 1990 y 2000, respectivamente. Según este informe, el mismo se vería reducido en 1MMb/d por las exportaciones soviéticas al mundo occidental durante el período 1980/2000 y en 2,3; 3,7 y 10 millones de barriles diarios durante los años 1985, 1990 y 2000, respectivamente, por el surgimiento de nuevas fuentes petrolíferas. Como consecuencia de todo esto, la producción podría cubrir la demanda esperada hasta el año 2000.

Es importante destacar que el déficit de petróleo convencional arriba señalado, se vería reducido básicamente por el efecto de los altos precios que el

CUADRO N° 3

Comparación de los Pronósticos de Oferta y Demanda Petrolera  
Mundial, 1978/2000  
(millones de barriles diarios)  
WAES

	Demanda	PRODUCCION OPEP				Exc. o (Déficit)		
		Lim. 33	Lim. 42,5a/	s/Lim. OPEP	No-OPEP	Lim. 33	Lim. 42,5	s/Lim. OPEP
1980	53,0	30,5	30,5	30,5	22,5			-
1985	60,5	33,0	37,5	37,5	23,0	(4,5)		-
1990	67,5	33,0	42,5	44,5	23,0	(11,5)	(2,0)	-
2000	84,0	33,0	42,0	45,0	39,0	(12,0)	(3,0)	-

CLARK

	Demanda	PRODUCCION		Exc. o (Déficit)
		OPEP	No-OPEP	
1980	56,5	34,4	22,1	
1985	62,5	34,1	25,5	(2,9)
1990	66,2	34,6	27,1	(4,5)
2000	72,6	34,7	27,2	(10,7)

EXXON

	Demanda	PRODUCCION		Exc. o (Déficit)
		OPEP	No-OPEP	
1980	59,0	38,0	21,0	-
1985	68,0	42,0	26,0	-
1990	76,0	46,0	30,0	-

CIA

	Demanda	PRODUCCION		Exc. o Déficit)
		OPEP	No-OPEP	
1978	51,7	31,6	20,1	-
1979	53,3	32,1	21,2	-
1980	55,8	33,8b/	22,0	-
1985	70,4	46,0c/	21,4	(3,0)

a/ Promedio de los otros dos Casos considerados (40 y 45 millones de b/d).

b/ Supone una producción por parte de Arabia Saudita de 15,5 millones de b/d.

c/ Supone una producción por parte de Arabia Saudita de 21 Milones de b/d

Finalmente, conviene llamar la atención sobre la opinión vertida en dicho Informe, en cuanto a que algunos expertos no han entendido la naturaleza del problema planteado, ya que equivocadamente creen que el rompimiento de la OPEP impediría aumentos de precios. Esto, según el informe, es un fenómeno inevitable que surge de la esencia misma del problema, concluye afirmando que "mientras no se identi-

fique el problema real, no habrá esperanzas de trabajar hacia una conclusión racional".

III- INFORME DE LA EXXON.

La conclusión de este informe, publicado en un folleto titulado "World Energy Outlook", es que todavía es muy temprano para afirmar que el mundo

confrontará un insoluble problema energético a largo plazo. Ello depende de ciertas incertidumbres en cuanto al comportamiento de las distintas variables en juego que hacen difícil asignar una alta probabilidad a cualquier resultado.

Sin embargo, el informe de la Exxon tiende a enfatizar como el hecho futuro más importante que habrá de ocurrir en la situación de la oferta y la demanda petrolera mundial, una reducción en el margen de flexibilidad de la industria para hacer frente a las variaciones normales de la demanda.

El informe supone que los precios petroleros se mantendrán, en términos reales, a los niveles prevalecientes en 1976.

Considera que es un poco aventurado predecir con precisión lo que habrá de ocurrir a la relación entre el crecimiento del consumo y el del PNB, por cuanto sólo se tiene la experiencia de los años 1974 y 1975 para suponer una modificación de su comportamiento anterior, pero se inclina por una lógica disminución de dicha relación por debajo de los niveles históricos. Concretamente, supone que el crecimiento del consumo será inferior al del PNB y que como consecuencia de ello se producirá un ahorro de un 17 0/0 en el consumo de energía (alrededor de 22 millones de barriles diarios equivalentes) para 1990. Supone tasas de crecimiento del PNB del 4,3 y 3,7 por ciento para los períodos 1975/80 y 1980/90, respectivamente. Las tasas de crecimiento, de la demanda serían del orden del 4.0 y 3.1 por ciento respectivamente, para los períodos antes mencionados.

El informe supone que la energía nuclear será el sector de mayor crecimiento y el más importante contribuyente al crecimiento de la energía. Este desenvolvimiento excluye el desarrollo comercial del proceso de regeneración o de fusión nuclear para antes de 1990 o fines de siglo.

El informe señala que los niveles de producción excederán en forma creciente el monto del descubrimiento de nuevas reservas y que esto no podrá continuar indefinidamente. Advierte que antes de llegarse a este punto, la capacidad de expansión de la producción será determinada por los gobiernos de los países productores, y ellos se traducirá en un estrechamiento de los niveles de oferta y demanda petrolera durante la mayor parte de lo que falta del presente siglo. Los pronósticos de los niveles de producción y demanda incluidos en el informe, parecen suponer implícitamente una producción por parte de Arabia Saudita del orden de los 21 MMb/d para 1990, ya que establece un nivel de producción OPEP para ese año de 46 MMb/d, cifra que en opinión de la mayoría de los expertos sólo se alcanzaría con un nivel de producción saudita del orden arriba indicado. //

#### IV. INFORME DE LA "CIA"

La conclusión general de este informe es que,

en ausencia de drásticas medidas de conservación de energía, la demanda petrolera se acercará a su capacidad productiva para comienzos de 1980 y la excederá substancialmente en 1985. Ante estas circunstancias, los precios se incrementarán acen-tuadamente para racionar el suministro disponible, independientemente de la actitud que adopte Arabia Saudita al respecto.

A diferencia de los otros informes, el de la "CIA" supone una significativa incidencia del bloque socialista en la evolución de la situación petrolera mundial y a esto, así como a las dudas de que los países miembros de la OPEP puedan producir los volúmenes de petróleo requeridos, obedece el hecho de que sea más pesimista que los otros. En efecto, el informe supone que la Unión Soviética dejará de exportar alrededor de un millón de barriles diarios a Occidente a más tardar para 1980, y pasará a competir, conjuntamente con los otros países del Este de Europa, por la adquisición de crudo de la OPEP con un nivel de requerimientos del orden de los 3,5MMb/d para 1985.

En términos generales, el informe prevé una declinación de la capacidad productiva de los países miembros de la OPEP para después de 1980. Irán alcanzará su máximo nivel de capacidad productiva para comienzos o mediados de 1980 y no podría producir más de 6,5 MMb/d. En vista de ello, Arabia Saudita tendría que incrementar rápidamente su producción a comienzos de 1980 a fin de poder satisfacer el crecimiento de la demanda futura. A tal efecto, sus niveles de producción deberían ser del orden de los 7MMb/d para 1980, 12MMb/d para 1982, entre 13 y 16MMb/d para 1983 y entre 19 y 23 MMb/d para 1985.

Aunque el informe considera que Arabia Saudita posee suficientes reservas para producir a esos niveles, duda de que los programas de expansión de su capacidad para tal fin, puedan ser concluidos a tiempo. Señala que los planes de Arabia Saudita para expandir su capacidad productiva hasta 16MMb/d para 1980 marchan con un retraso de por lo menos dos años. De continuar esta situación —advierte— su máxima capacidad productiva será, cuando más, del orden de 18MMb/d para 1985, es decir unos 3 millones de barriles diarios menos que el nivel de producción requerido para ese entonces. Señala que si Arabia Saudita resuelve no expandir su producción por encima del nivel de 16MMb/d proyectado para 1980, se producirá una situación deficitaria a más tardar en 1984 y el déficit de producción sería del orden de los 7 MMb/d para 1985. Sin embargo, advierte que aún en el supuesto de que Arabia Saudita logre expandir a tiempo su capacidad productiva, todavía quedaría la incertidumbre de si estaría dispuesta a producir a los niveles requeridos. La situación de excedentes de ingresos con su secuela de problemas, y el rápido agotamiento de sus reservas, así como razones de orden político, podrían inducir a dis-

minuir o mantener su nivel de producción.

Destaca que si Arabia Saudita permite que su producción alcance los 20 MMB/d para mediados de la década de los ochenta, ésta comenzaría a declinar para mediados de la década de los noventa debido a un agotamiento de sus reservas, y advierte que para alcanzar el referido nivel de producción Arabia Saudita tendría que quemar grandes volúmenes de gas, lo cual no están dispuestos a hacer.

El informe señala que como consecuencia de lo indicado anteriormente, el papel de moderador de la tendencia de aumento en los precios que ha venido jugando Arabia Saudita tenderá a debilitarse y, a más tardar, su influencia determinante al respecto se prolongaría hasta 1983, si es que en efecto acomete a tiempo sus planes de expansión productiva.

Sostiene que debido a la producción de Alaska y del Mar del Norte los requerimientos de petróleo provenientes de los países miembros de la OPEP se incrementarán gradualmente durante los próximos años, y que si Arabia Saudita continúa jugando su papel moderador, los precios del petróleo en términos reales no aumentarán substancialmente, sino que más bien podrían declinar.

Concluye enfatizando que para 1982 o 1983 serán inevitables drásticos aumentos de precios, a menos que sean adoptadas severas medidas de conservación que reduzcan considerablemente la demanda.

El informe supone una tasa de crecimiento del PNB hasta 1985, inferior a la prevaliente para la década 1963/73. Señala que ello implica tasas de crecimiento para los Estados Unidos (4-5 %), para los países europeos incluidos en la OECD (3-3,5 %), inferiores a los niveles proyectados por la OECD.

El informe estima la demanda futura extrapolando hacia 1985 la tendencia de la tasa de crecimiento del consumo de energía y del PNB prevaliente para 1960/73, ajustada posteriormente de manera de considerar la disminución de la demanda derivada de las actuales medidas de conservación y de los aumentos de precios efectuados hasta el presente.

Es importante destacar que el informe considera solamente el efecto de las medidas de conservación actualmente en vigencia; es decir que no toma en cuenta el impacto sobre la demanda que podrían tener los cambios futuros en las políticas de conservación de los países industrializados. Esto es algo que también lo diferencia de los otros informes analizados ya que éstos, expresa o tácitamente, consideran este efecto.

#### Conclusiones-

(1) La conclusión general más importante derivada

de las consideraciones anteriores es que, dependiendo básicamente del nivel de producción petrolera de Arabia Saudita, de la efectividad de las medidas de conservación que adopten los países consumidores y del nivel que alcancen los precios del petróleo, la oferta petrolera mundial, en el peor de los casos, sólo alcanzará para cubrir la demanda proyectada para comienzos de la década de los 80, y en el mejor de los casos, será suficiente para satisfacer la demanda prevista hasta la década de los 90, pudiendo excepcionalmente extenderse la cobertura de la demanda prevista hasta el año 2004.

(2) Como quiera que la oferta y la demanda en la vida real siempre se equilibran, el déficit referido en el punto anterior lo que indica es que un poco antes, o durante las fechas señaladas, las mencionadas variables sufrirán un serio desajuste que será restablecido mediante un aumento de precios, un decrecimiento de las tasas de desarrollo económico y/o la adopción de energías políticas de restricción al consumo o de estímulo al desarrollo de fuentes alternas de energía. Dentro de este contexto, los términos escasez o abundancia petrolera tienen una validez hasta cierto punto relativa, y para comprender su significado habría que referirlos al supuesto teórico de que se mantuvieran vigentes las condiciones anteriores.

(3) Otras conclusiones importantes derivadas del análisis anterior serían las siguientes:

(a) Todos los informes analizados con la excepción del de Clark, suponen que Arabia Saudita producirá 18MMb/d o más. El de WAES es el más flexible de todos, al considerar tres niveles de oferta OPEP: 33, 40 y 45 MMB/d los cuales implicarían niveles de producción para Arabia Saudita de 8,5; 15 y 20MMb/d, respectivamente. Clark considera que es irrealístico suponer un nivel de producción OPEP superior a los 40 MMB/d.

(b) En términos generales, las tasas de crecimiento económico y la relación entre el crecimiento del consumo y del PNB contemplados en el informe de Clark, son las más conservadoras. Las primeras disminuyen desde 4,8 hasta 2,8 por ciento durante el período considerado en comparación con disminuciones desde 4,3 hasta 3,7 por ciento, y desde 5,2 hasta 2,8 por ciento (promedio) previstas en los informes de EXXON y WAES, respectivamente. El informe de la "CIA" no menciona expresamente estas variables. Es oportuno señalar que el informe de la "CIA" es el más pesimista de todos siguiéndole los de WAES, EXXON y CLARK. La razón de que el informe de Clark sea el

menos pesimista de todos, obedece básicamente al hecho de que supone niveles de precios petroleros mucho más elevados.

Por último, conviene apuntar que, en términos generales, todos los informes analizados, explícita o implícitamente, coinciden en indicar lo siguiente:

La tasa futura de crecimiento económico del mundo no comunista será inferior a la histórica

En concordancia con lo indicado en el punto anterior, el crecimiento futuro de la demanda será igualmente inferior a la tasa histórica.

La relación entre el crecimiento del consumo energético y el del PNB se situará por debajo de los niveles históricos debido, entre otras razones, a un uso más racional y eficiente de la energía y al efecto restrictivo sobre la demanda derivado del futuro aumento de precios.

Las reservas brutas agregadas de petróleo convencional no cubrirán los futuros aumentos de la producción petrolera. Esta tendencia empezó a observarse a partir de 1970.

Se producirá un agudizamiento de la estrechez entre la oferta y la demanda petrolera mundial. Este reducirá hasta niveles altamente críticos el margen de flexibilidad de la industria para atender las normales variaciones de la demanda. Como consecuencia de ello, cualquier significativa disminución de la producción petrolera de uno de los principales países productores de la OPEP podría dar lugar a una crisis petrolera a nivel mundial.

La política de producción petrolera que adopte Arabia Saudita es el elemento clave para balancear la demanda petrolera prevista hasta el año 2000.

En términos generales, el pleno desarrollo de fuentes alternas de energía requiere de prolongados tiempos de maduración y de sensacionales avances tecnológicos, por lo

que es poco probable que su contribución a la solución de la grave situación energética, sea determinante durante lo que resta del presente siglo.

La producción petrolera de Alaska apenas será suficiente para contrarrestar la disminución petrolera de Norteamérica durante 1 ó 2 años (hasta 1980).

La producción del Mar del Norte tenderá a limitar el crecimiento de la importación petrolera de Europa. Sin embargo, la consiguiente liberación de crudos derivada de ese hecho, para ser exportado a otros mercados, será insuficiente para balancear el futuro crecimiento de la demanda petrolera.

Para mediados de los ochenta, México y Egipto podrían convertirse en productores substanciales de petróleo, pero su contribución a la solución del problema energético sería insignificante.

La energía nuclear tenderá a ser el sector de mayor crecimiento y el más importante contribuyente al crecimiento de la energía. Sin embargo, este desenvolvimiento excluye el desarrollo comercial del proceso de regeneración o de fusión nuclear para 1990 o fines de siglo. En consecuencia, la energía nuclear aliviará, pero no resolverá el problema energético antes del año 2000.

Los precios del petróleo tendrán que subir para hacer posible la explotación de otras fuentes de energía. Esto debería hacerse gradualmente a fin de evitar graves desajustes en el desenvolvimiento económico mundial.

Los gobiernos deben adoptar efectivas políticas de conservación y participar activa e inmediatamente en el estímulo y promoción de programas que conlleven a una ampliación del volumen de energía disponible.

Para hacer frente a la grave situación energética del futuro, debe establecerse un clima de cooperación internacional basado en la interdependencia del mundo.

CUADRO VI: MUNDO – Años en que Según WAES los Máximos Niveles de Producción Previstos no Cubrirán la Demanda Futura, e Indicación de las Principales Premisas Adoptadas al Respecto.—

	1981	1983	1986	1889	1990	1994	1997	2004
<b>Tasa de Crecimto. Econ.</b>								
Alta (5,2 – 4,0 0/0)	x			x	x		x	
Baja (3,4 – 2,8 0/0)		x	x			x		x
<b>Producción</b>								
Limitada OPEP (33MMBD)	x	x						
Limitada OPEP (40MMBD)			x					
Limitada OPEP (45MMBD)				x				
Sin Límite OPEP					x	x	x	x
<b>Reservas Brutas Agregada/Años</b>								
20 Mil Millones	x	x		x			x	x
10 Mil Millones			x		x	x		
<b>Precios del Petróleo (Reales 1975)</b>								
Subiendo hasta \$ 17,25	x			x	x		x	
Constante \$ 11,50		x	x			x		x

CUADRO VII—MUNDO – Estimación de los Niveles de Producción y Demanda Petrolera Según WAES 1980/2000 (Millones de Barriles Diarios)

CASO C-1

PRODUCCION

	Demanda	Lim. OPEP 33 (MMBD)	Lim. OPEP 45 (MMBD)	Sin Límite OPEP	Déficit (Caso sin Límite)
1980	55	55	55	55	—
1985	64	57	64	64	—
1990	73	58	71	73	—
1995	83	59	71	83	—
2000	93	58	70	81	12

CASO D-8

PRODUCCION

	Demanda	Lim. OPEP 33 (MMBD)	Lim. OPEP 45 (MMBD)	Sin Límite OPEP	Déficit (Caso sin Límite)
1980	51	51	51	51	—
1985	57	54	57	57	—
1990	62	53	61	62	—
1995	69	53	60	62	7
2000	75	52	58	53	22

CASO C-1: Supone: Una alta tasa de crecimiento (5,2 – 4 0/0); 20 mil millones de Reservas Brutas agregada por año; Precios Petroleros subiendo hasta 17,25 en términos reales con respecto al nivel de 11,50 expresado en dólares de 1975; una política vigorosa en materia de conservación. etc. por parte de los gobiernos; el petróleo será substituido principalmente por carbón.

CASO D-8: Supone: una baja tasa de crecimiento (3,4 – 2,8 0/0); 10 mil millones de Reservas Brutas agregadas por año; Precios petroleros constantes al nivel de 11,50 expresado en dólares de 1975; una política en materia de conservación etc. poco receptiva por parte de los gobiernos; el petróleo será substituido principalmente por la energía nuclear.

**CUADRO VIII : Comparación de los Pronósticos de Oferta y Demanda Petrolera Mundial - 1978/2000**  
(Millones de Barriles Diarios)

	Demanda	WAES						
		PRODUCCION				EXC. o (Déficit)		
		Lim. 33	Lim. 42,5*	s/Lim. OPEP	No OPEP	Lim. 33	Lim. 42,5	S/Lim. OPEP
1980	53,0	30,5	30,5	30,5	22,5	-	-	-
1985	60,5	33,0	37,5	37,5	23,0	( 4,5)	-	-
1990	67,5	33,0	42,5	44,5	23,0	(11,5)	(-2,0)	-
2000	84,0	33,0	42,0	45,0	22,0	(29,0)	(20,0)	(17)

	Demanda	PRODUCCION		Exc. o (Déficit)
		OPEP	NO-OPEP	
		1980	36,5	
1985	62,5	34,1	25,5	(2,9)
1990	66,2	34,6	27,1	(4,5)
2000	72,6	34,7	27,2	(10,7)

	Demanda	PRODUCCION		Exc. o (Déficit)
		OPEP	NO-OPEP	
		1980	59,0	
1985	68,0	42,0	26,0	-
1990	76,0	46,0	30,0	-

	Demanda	PRODUCCION		Exc. o (Déficit)
		OPEP	NO-OPEP	
		1978	51,7	
1979	53,3	32,1	21,2	-
1980	55,8	33,8**	22,0	-
1985	70,4	46,0***	21,4	(3,0)

(\*) Promedio de los otros dos casos considerados 40/45MMBD. (\*\*) Producción Arabia Saudita 15,5 MMBD  
(\*\*\*) Producción de Arabia Saudita de 21 MMBD.

Figure I-7 Oil Production, WOCA (Case C-1)

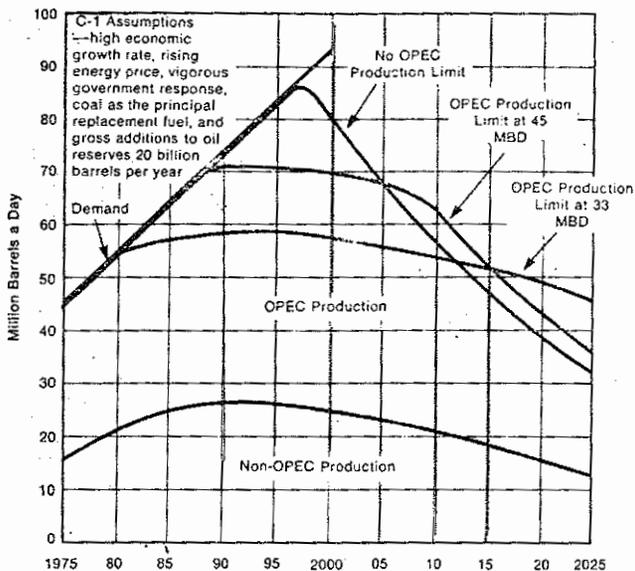
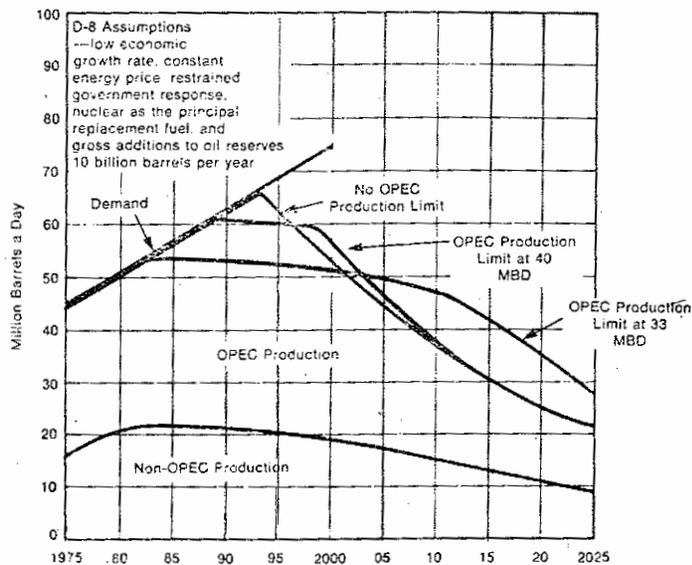
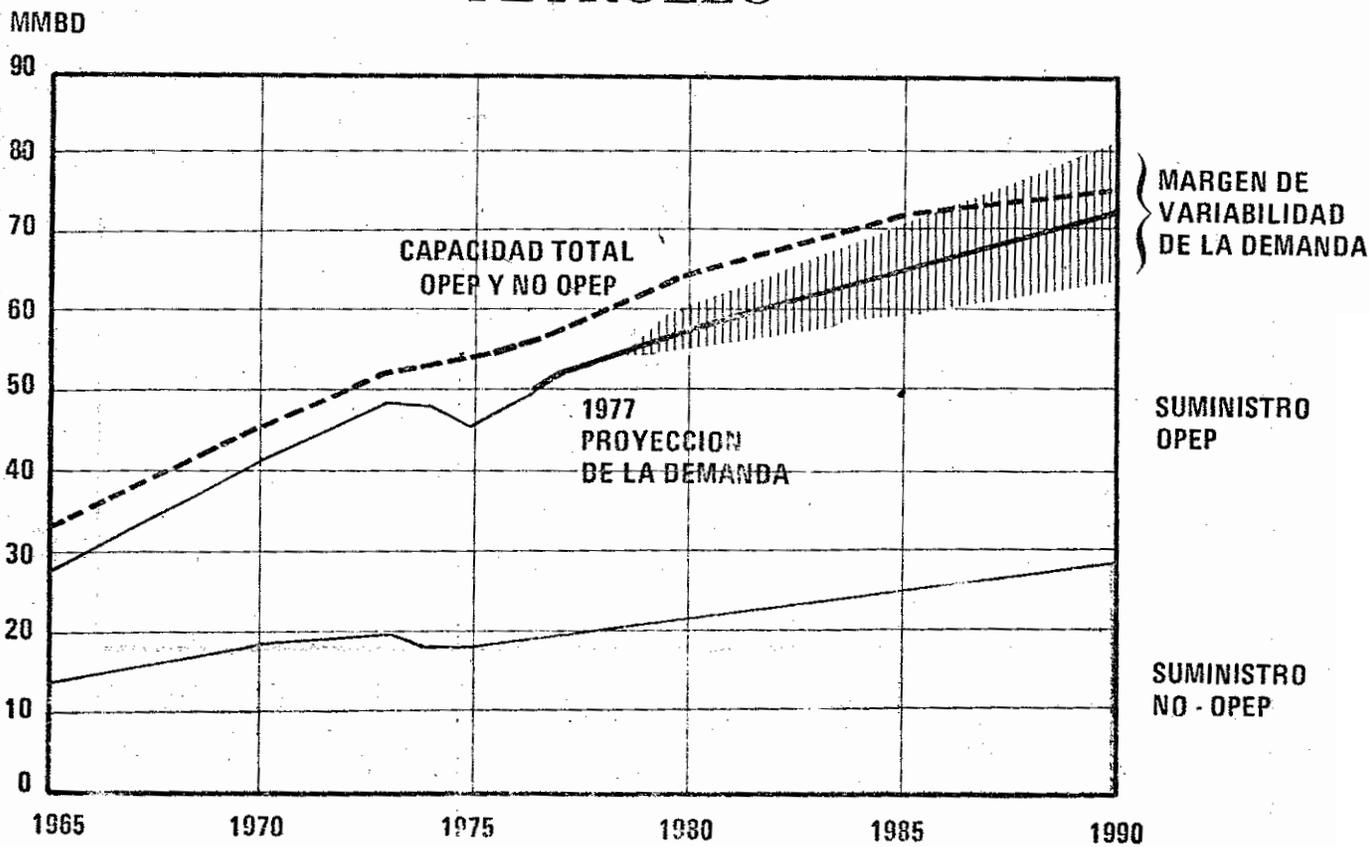


Figure I-8 Oil Production, WOCA (Case D-8)

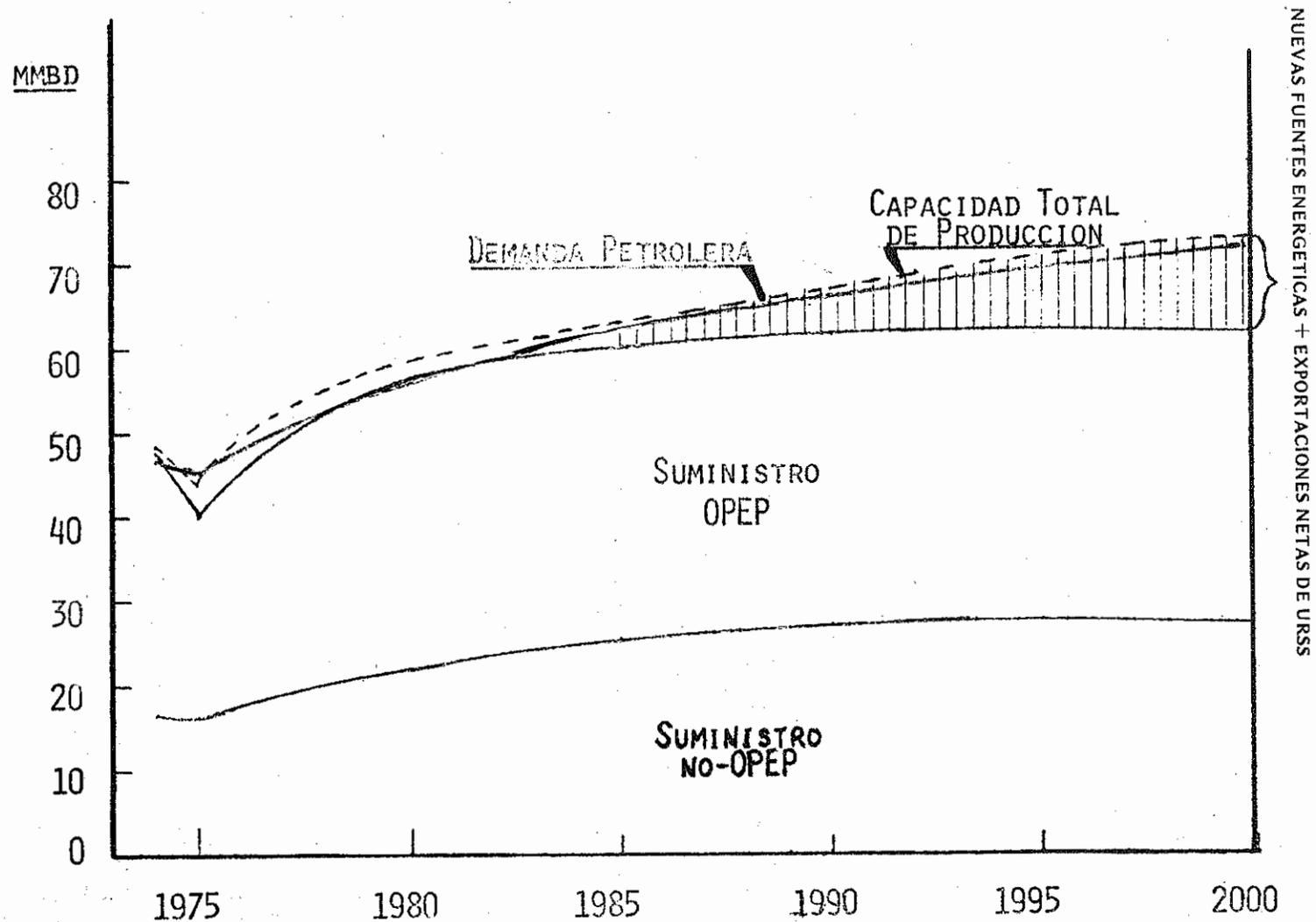


## OFERTA Y DEMANDA MUNDIAL DE PETROLEO \*

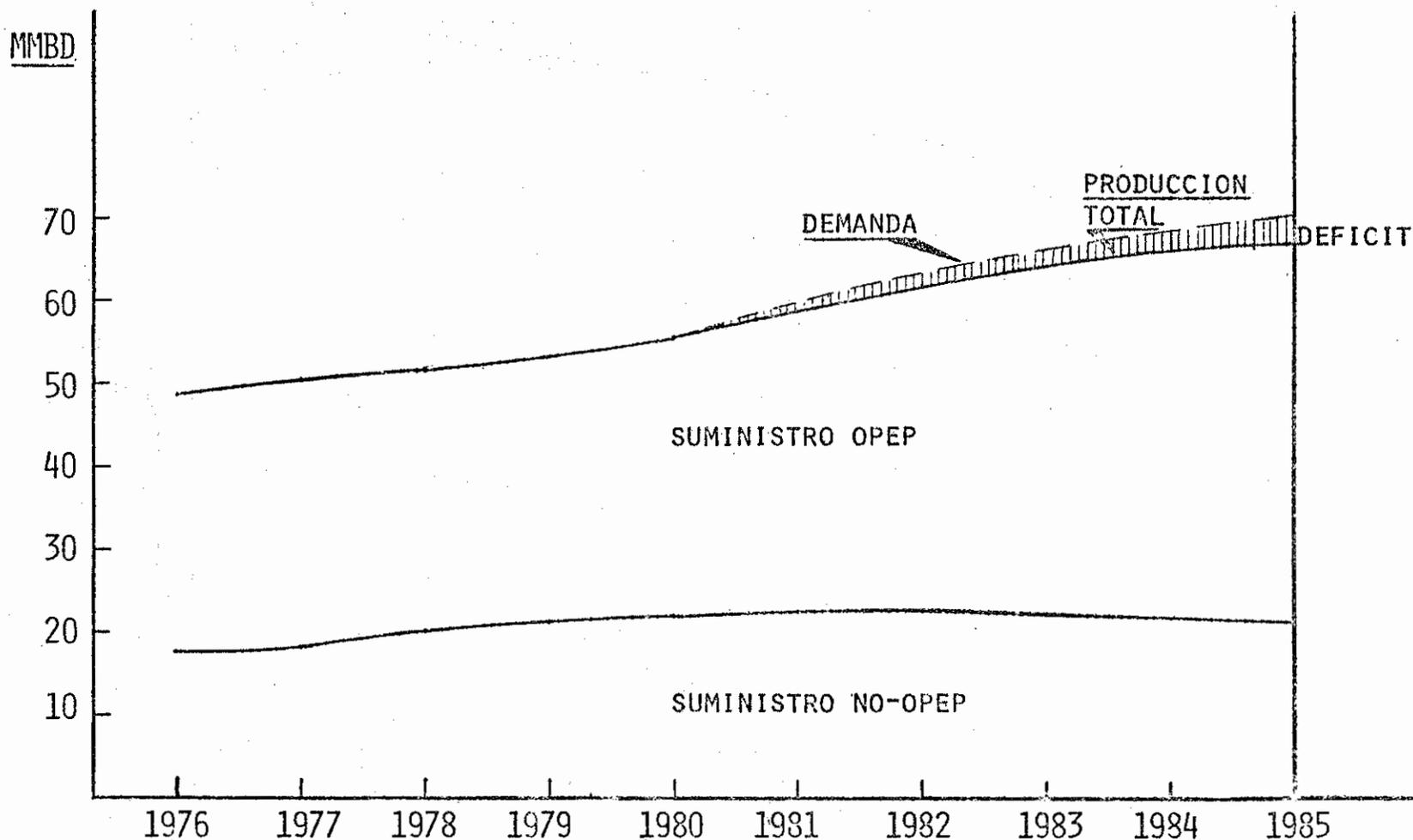


\* EXCLUYE AREA COMUNISTA (S/EXXON)

ESTIMACION DE LOS NIVELES DE PRODUCCION Y DEMANDA PETROLERA MUNDIAL  
SEGUN SHERMAN CLARK Y ASOCIADOS (1974 - 2000)

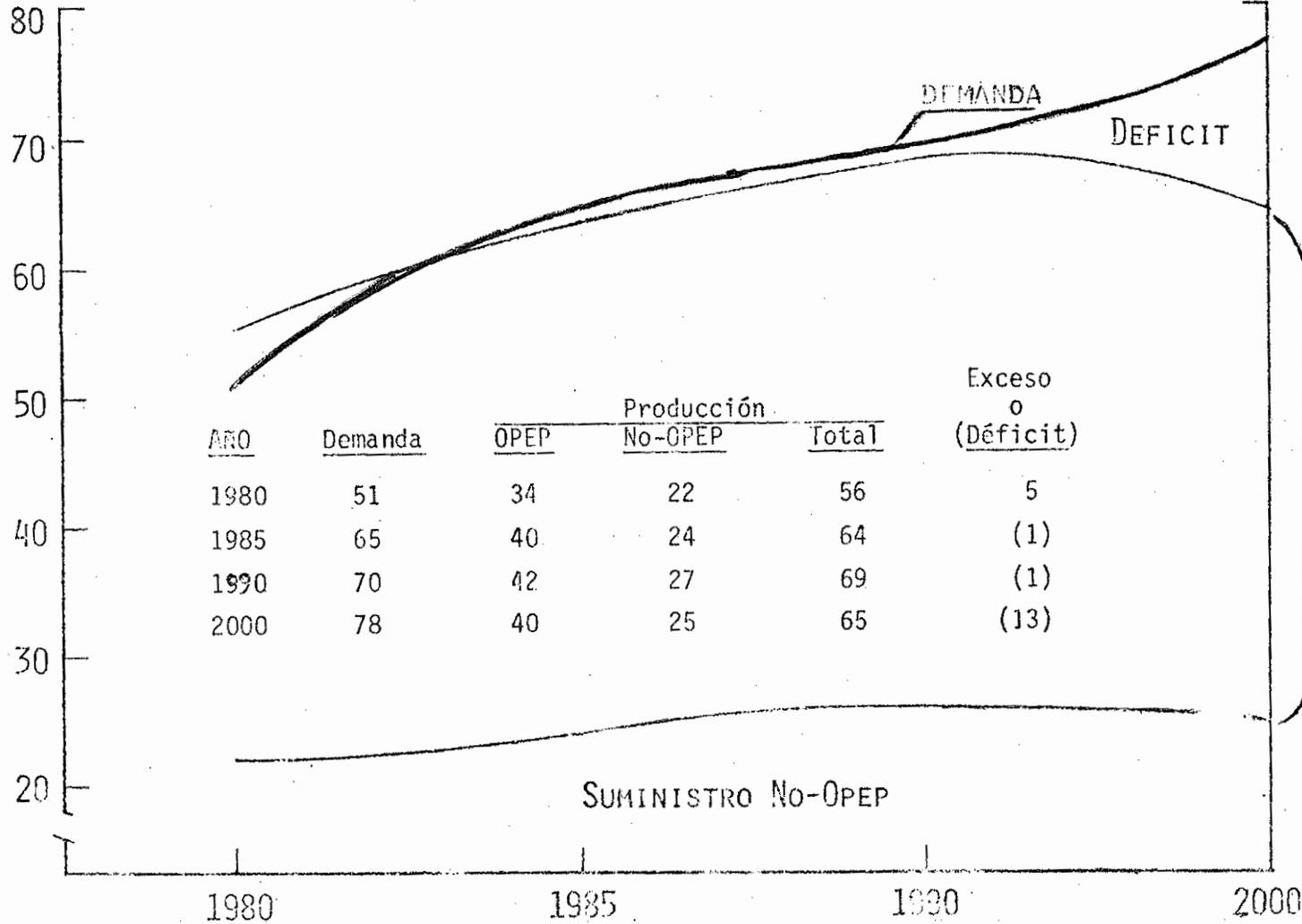


ESTIMACION DE LOS NIVELES DE PRODUCCION Y DEMANDA PETROLERA MUNDIAL  
SEGUN LA CIA (1976/1985)



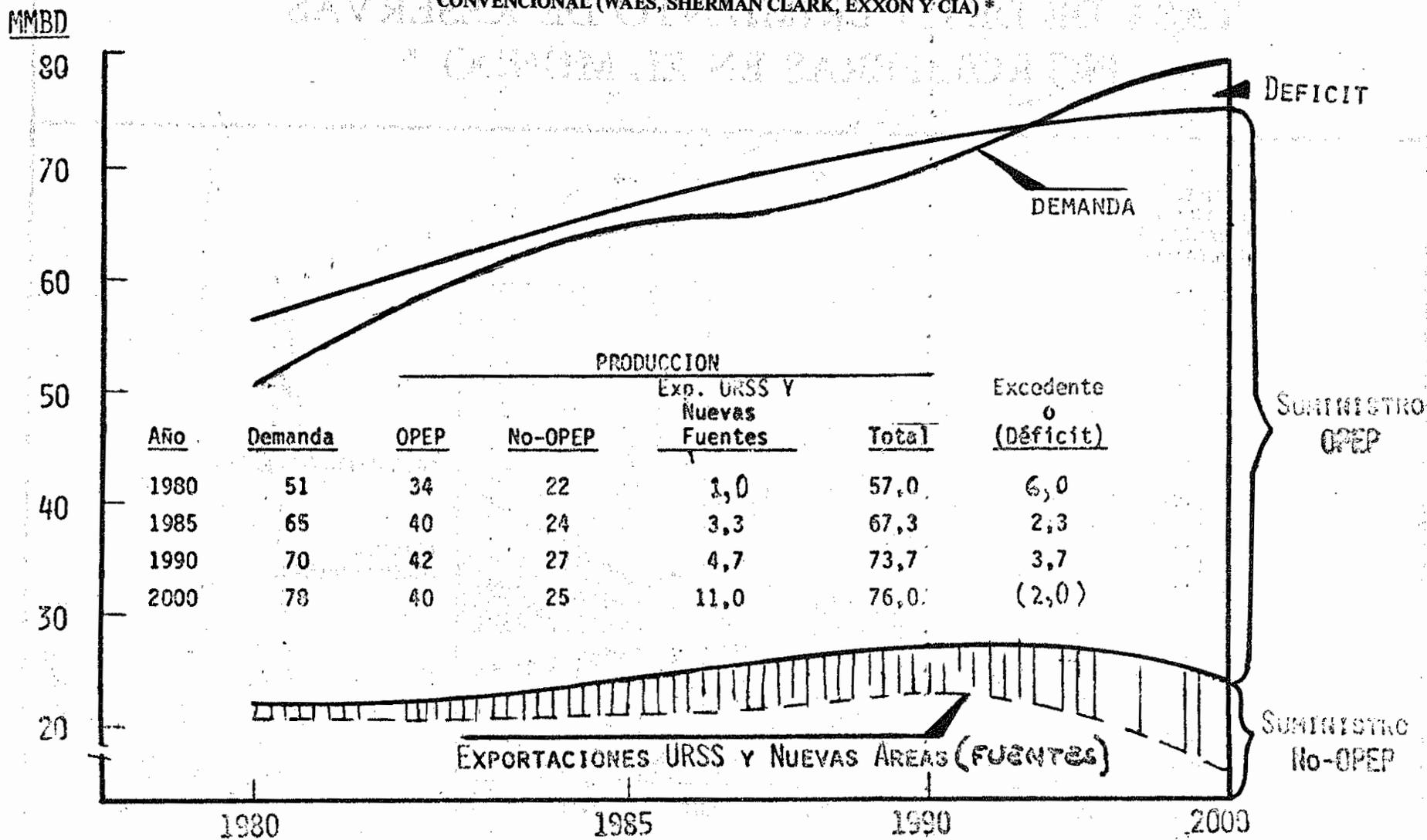
MUNDO: OFERTA Y DEMANDA DE PETROLEO CONVENCIONAL  
(WAES, SHERMAN CLARK, EXXON Y CIA) \*

MMBD



\* Promedio de las cifras de oferta y demanda de estos informes

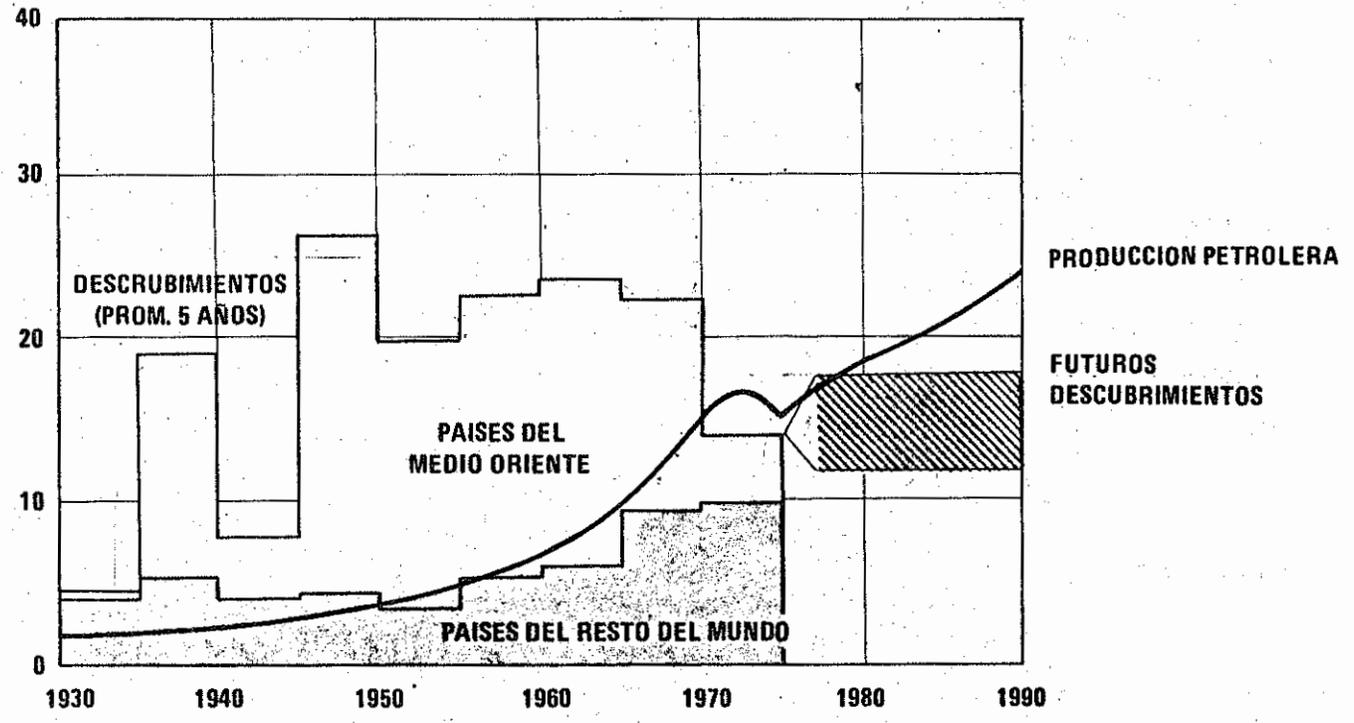
MUNDO: OFERTA Y DEMANDA DE PETROLEO CONVENCIONAL Y NO CONVENCIONAL (WAES, SHERMAN CLARK, EXXON Y CIA) \*



\* Promedio de las cifras de oferta y demanda de estos informes

# TASA DE DESCUBRIMIENTO DE RESERVAS PETROLIFERAS EN EL MUNDO \*

MILES MILLONES DE BARRILES DE PETROLEO



\* EXCLUYE AREAS COMUNISTAS

**D  
O  
C  
U  
M  
E  
N  
T  
O  
S**

**ECUADOR**

## EL CONSEJO SUPREMO DE GOBIERNO

## CONSIDERANDO:

QUE es deber del Estado adoptar oportunamente las medidas apropiadas, que garanticen el suministro de energía;

QUE es de fundamental importancia conocer, determinar y evaluar los recursos energéticos renovables y no renovables, a fin de orientar su aprovechamiento de acuerdo con la realidad energética del País;

QUE es necesario establecer el Plan Maestro de Energía de conformidad a una adecuada política de desarrollo y utilización racional de los recursos energéticos; y,

EN uso de las atribuciones de que se halla investido,

## DECRETA:

La presente

## LEY DEL CONSEJO SUPERIOR DE ENERGIA Y DEL INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA

## TITULO I

## DEL CONSEJO SUPERIOR DE ENERGIA

Artículo 1o.— Confórmase el Consejo Superior de Energía, que estará integrado por los siguientes miembros:

- El Ministro de Recursos Naturales y Energéticos, quien lo presidirá;
- El Ministro de Finanzas y Crédito Público;
- El Ministro de Industrias, Comercio e Integración;
- El Presidente de la Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica;
- El Jefe del Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas;
- El Secretario General del Consejo de Seguridad Nacional;
- Un representante de las Cámaras de la Producción; y,
- Un representante de la Asociación de Municipalidades.

El Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Energía actuará como asesor, con voz informativa y sin derecho a voto.

Artículo 2o.— Son funciones del Consejo Superior de la Energía:

- Establecer la política energética nacional y someterla a la aprobación del Presidente de la República;
- Aprobar el Plan Maestro de Energía;
- Normar las actividades del sector energético del País;
- Análisis periódico el estado de ejecución del Plan Maestro de Energía y aprobar los ajustes necesarios en orden al cabal cumplimiento del mismo;
- Disponer las medidas que se requieran para el desarrollo integral y equilibrado de las fuentes convencionales y no convencionales de energía; y,
- Las demás funciones que le confieren la Ley y los Reglamentos.

Artículo 3o.— El Consejo Superior de Energía sesionará ordinariamente cada mes y extraordinariamente, a petición de su Presidente o de dos de sus miembros.

El quórum para las sesiones será de cinco miembros, por lo menos, y las decisiones se aprobarán por mayoría absoluta de votos. El Presidente tendrá voto dirimente.

## TITULO II

## DEL INSTITUTO NACIONAL DE LA ENERGIA

Artículo 4o.— Créase el Instituto Nacional de Energía (INE), como entidad de derecho público, con personería jurídica propia, dependiente del Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos y con domicilio en la ciudad de Quito.

Artículo 5o.— El Instituto Nacional de Energía, como orga-

nismo eminentemente técnico y científico, formulará las medidas tendientes a desarrollar el sector energético del País y lograr la utilización racional de los recursos de este sector.

Artículo 6o.— Son funciones del Instituto Nacional de Energía:

- Elaborar la política energética nacional acorde con el desarrollo del País y la coyuntura internacional, y someterla a consideración del Consejo Superior de Energía;
- Asesorar al Consejo Superior de Energía;
- Coordinar y orientar las actividades de todos los organismos del área energética;
- Inventariar y evaluar los recursos energéticos del País;
- Preparar el Plan Maestro de Energía y los programas de corto, mediano y largo plazo, tomando en cuenta la racionalización del consumo de energía, el ahorro de combustibles y el mantenimiento del equilibrio ecológico, entre otros aspectos, y someterlos a consideración del Consejo Superior de Energía;
- Evaluar periódicamente los resultados de la ejecución de los planes de desarrollo energético, hacer los ajustes necesarios y presentar los informes correspondientes a consideración del Consejo Superior de Energía;
- Prestar asesoramiento a las instituciones y empresas, tanto públicas como privadas en el sector energético;
- Propender al perfeccionamiento y capacitación técnica de los recursos humanos, en todos los niveles;
- Mantener interrelación técnico-científica con instituciones afines nacionales e internacionales;
- Formular la política de producción, transferencia y utilización de la tecnología en el sector energético;
- Ejecutar las decisiones del Consejo Superior de Energía;
- Diffundir el desarrollo científico y tecnológico y su aplicación en el campo energético; y,
- Las demás funciones contempladas en la Ley y los Reglamentos.

Artículo 7o.— El Instituto Nacional de Energía estará conformado por el Consejo Técnico, la Dirección Ejecutiva y las dependencias técnicas y administrativas necesarias para su normal funcionamiento.

Artículo 8o.— El Consejo Técnico del Instituto Nacional de Energía estará integrado por los siguientes miembros:

- El Subsecretario del Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, quien lo presidirá;
- Un representante de la Subsecretaría de Presupuesto y Crédito Público del Ministerio de Finanzas y Crédito Público;
- Un representante del Ministerio de Industrias, Comercio e Integración;
- Un representante de la Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica;
- Un representante de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana;
- Un representante del Instituto Ecuatoriano de Electrificación;
- Un representante del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos;
- Un representante de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica; e,
- El Director Ejecutivo del Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos.

El Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Energía actuará como secretario del Consejo Técnico.

Artículo 9o.— Los representantes que integran el Consejo Técnico del Instituto Nacional de Energía deberán ser funcionarios de los Organismos que representan, poseer título profesional a nivel superior, experiencia y reconocido prestigio en el área del sector energético representado, y durarán por lo menos dos años en sus funciones.

Artículo 10.— Son funciones del Consejo Técnico:

- Establecer las bases, pautas y estrategia para la elaboración de los planes y programas del Instituto, y aprobarlos, con sujeción a las directivas del Consejo Superior de Energía;
- Aprobar los estados financieros y el proyecto de presupuesto del Instituto Nacional de Energía, este último para ser tramitado ante el Ministerio de Finanzas conforme a lo dispuesto por la Ley Orgánica de Administración Financiera y Control;
- Estudiar y aprobar la política y los trabajos de desarrollo, inventarios y balances energéticos, elaborados en el Instituto;
- Asesorar al Consejo Superior de Energía en la elaboración de la política energética nacional;
- Controlar periódicamente la ejecución del Plan Maes-

tro de Energía y de los programas de trabajo del Instituto, evaluar sus resultados y recomendar los ajustes necesarios para el efectivo alcance de las metas;

- f) Estudiar y recomendar los proyectos de investigación y desarrollo científico y tecnológico, de acuerdo con las prioridades que se establezcan;
- g) Autorizar al Director Ejecutivo del Instituto la celebración de convenios y acuerdos nacionales e internacionales inherentes a la Institución;
- h) Aprobar los reglamentos internos, necesarios para la organización y el desenvolvimiento del Instituto; e,
- i) Las demás funciones contempladas en la Ley y los Reglamentos.

Artículo 11.— El Consejo Técnico del Instituto Nacional de Energía sesionará ordinariamente una vez por semana y extraordinariamente, a petición de su Presidente o de dos de sus miembros.

El quórum de las sesiones será de cinco miembros y las decisiones se tomarán por mayoría absoluta de votos. El Presidente tendrá voto dirimente.

#### EL DIRECTORIO EJECUTIVO

Artículo 12.— El Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Energía será nombrado por el Consejo Técnico del Instituto de la terna que presentará el Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos.

Artículo 13.— Para ser Director del Instituto Nacional de Energía se requiere:

- a) Poseer título académico a nivel superior en una de las ciencias afines a las funciones del Instituto;
- b) Tener experiencia, de por lo menos cinco años, en trabajos relacionados con el sector de la energía; y,
- c) Haber desempeñado durante cinco años, por lo menos, funciones directivas.

Artículo 14.— Son atribuciones y deberes del Director Ejecutivo:

- a) Ejercer la representación legal del Instituto;
- b) Planificar, organizar, dirigir, ejecutar, coordinar y supervisar las actividades técnicas, científicas y administrativas del Instituto;
- c) Presentar a consideración y dictamen del Consejo Técnico los planes, programas, proyectos y el anteproyecto de presupuesto anual del Instituto;
- d) Someter la versión preliminar del Plan Maestro de Energía y los demás de corto, mediano y largo plazo, a consideración del Consejo Técnico del Instituto, el cual los elevará a la aprobación del Consejo Superior de Energía;
- e) Proponer al Consejo Técnico del Instituto las recomendaciones sobre la ejecución de los planes, programas y proyectos, y sobre el desenvolvimiento institucional de la Entidad;
- f) Contratar, nombrar y remover al personal técnico y administrativo del Instituto de acuerdo a la Ley, e informar al Consejo Técnico;
- g) Autorizar compromisos y gastos del Instituto, de conformidad con las disposiciones legales y reglamentarias pertinentes;
- h) Elaborar y someter a la aprobación del Consejo Técnico los reglamentos para la organización y funcionamiento del Instituto; e,
- i) Las demás funciones que le confieren la Ley y los Reglamentos

#### DE LAS DIVISIONES TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS

Artículo 15.— El Instituto Nacional de Energía contará

con las divisiones técnicas y administrativas necesarias para su normal desenvolvimiento, y las funciones respectivas estarán determinadas en el Reglamento Orgánico y Funcional del Instituto.

#### DEL PATRIMONIO Y RECURSOS

Artículo 16.— El patrimonio y recursos del Instituto Nacional de Energía estarán constituidos por:

- a) Las asignaciones que se harán constar en el Presupuesto del Gobierno Nacional; y,
- b) Los ingresos generados por los servicios prestados por el Instituto.

#### DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 17.— La producción, conversión y consumo de energía se sujetarán a las políticas y regulaciones dictadas por el Consejo Superior de Energía.

Artículo 18.— El Instituto Nacional de Energía evitará en todo caso la duplicación de actividades en la ejecución de los planes, programas y proyectos del área energética.

#### DISPOSICIONES TRANSITORIAS

PRIMERA.— El Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos elaborará por esta sola vez el proyecto de presupuesto y el Reglamento Orgánico y Funcional del Instituto Nacional de Energía, y expedirá los reglamentos de elección de los representantes de las Cámaras de la Producción y de la Asociación de Municipalidades.

SEGUNDA.— La presente Ley tiene el carácter de especial, prevalecerá sobre las disposiciones que se le opusieren, entrará en vigencia desde la fecha de su expedición sin perjuicio de su publicación en el Registro Oficial, y de su ejecución encárguense los señores Ministros de Recursos Naturales y Energéticos y de Finanzas y Crédito Público.

DADO en el Palacio Nacional, en Quito, a 22 de Septiembre de 1.978

Almirante Alfredo Poveda Burbano,  
COMANDANTE GENERAL DE LA FUERZA NAVAL  
PRESIDENTE DEL CONSEJO SUPREMO DE GOBIERNO

General de División Guillermo Durán Arcentales  
COMANDANTE GENERAL DE LA FUERZA TERRESTRE  
MIEMBRO DEL CONSEJO SUPREMO DE GOBIERNO

Brigadier General Luis Leoro Franco,  
COMANDANTE GENERAL DE LA FUERZA AEREA  
MIEMBRO DEL CONSEJO SUPREMO DE GOBIERNO

General de División Eduardo Sembiantes Polanco,  
MINISTRO DE RECURSOS NATURALES Y  
ENERGETICOS

Lcdo. Juan Reyna S.  
MINISTRO DE FINANZAS Y CREDITO PUBLICO.

**FIRMA DEL ACTA DE POSESION.** El 30 de octubre pasado en Quito, sede permanente de la OLADE, el ingeniero mexicano Gustavo Rodríguez Elizarrarás se posesionó del cargo de Secretario Ejecutivo de la Organización. A su der., el Ministro de Recursos Naturales y Energéticos de Ecuador, general Jaime E. Semblantes Polanco, quien, a nombre y en representación del Lic. José A. Oteyza Secretario de Patrimonio y Fomento Industrial de México y presidente de la IX Reunión de Ministros, lo posesionó del cargo.



**ACT OF POSSESSION SIGNATURE.** Last October 30 th. in Quito, permanent headquarter of OLADE, Mr. Gustavo Rodríguez Elizarrarás, a Mexican Engineer, took possession as Executive Secretary of the Permanent Secretariat of the Organization. At its right, Minister of Natural Resources and Energy of Ecuador, Mr. E. Semblantes Polanco, who, on behalf and representing Mr. José A. Oteyza, Secretary of Industrial Patrimony and Development of Mexico and president of the IX Meeting of Ministers, possessed him on office,

**Rodríguez Elizarrarás:  
LO QUE SE ESPERA DE NOSOTROS ES QUE  
ACTUEMOS**



Ministro Semblantes: "El gobierno del Ecuador es plenamente solidario con los fines y propósitos de OLADE"

Minister Semblantes: "The government of Ecuador is fully solidary with the objectives and purposes of OLADE"

Con la convicción de que el destino se dejará sentir si los pueblos latinoamericanos no actúan, el ingeniero mexicano Gustavo Rodríguez Elizarrarás asumió sus funciones de Secretario Ejecutivo de la Organización el pasado 30 de octubre. La ceremonia oficial de toma de posesión revistió un significativo realce con la presencia de autoridades nacionales del Ecuador y del cuerpo diplomático acreditado en el país sede, así como de delegaciones oficiales enviadas por los países miembros.

El nuevo Secretario Ejecutivo, quien reemplaza en el cargo al ingeniero boliviano Carlos Miranda Pacheco, es

**Rodríguez Elizarrarás  
WE ARE EXPECTED TO ACT.**

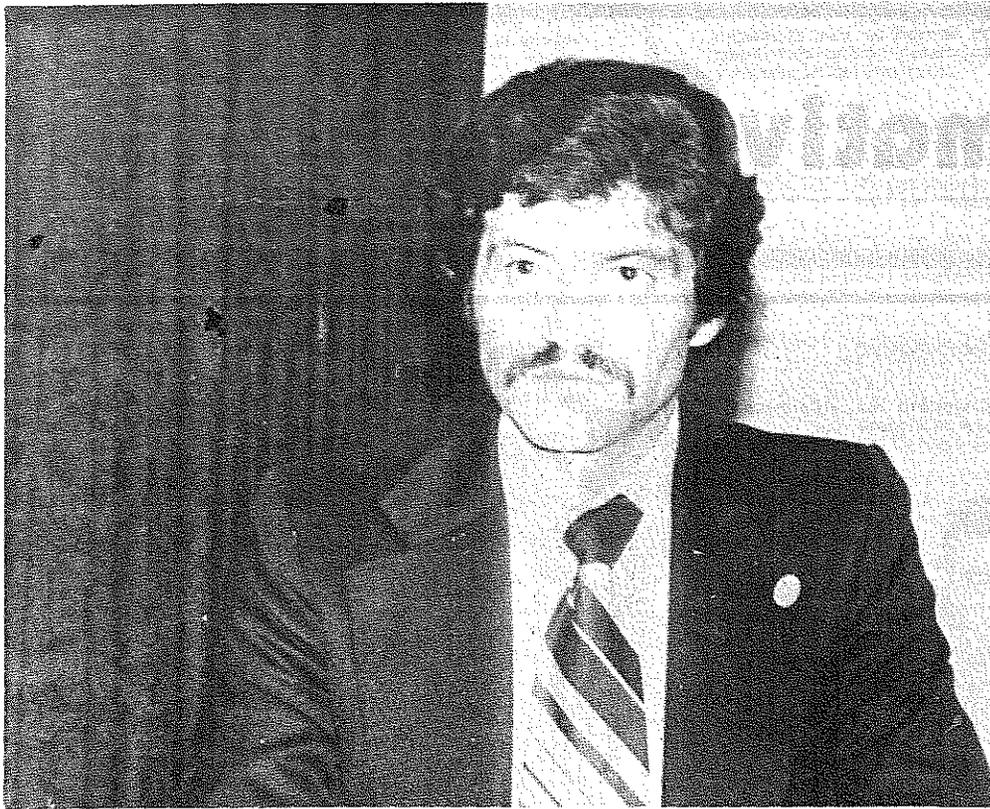
Convinced that the countries of Latin America must act in their own interests, the Mexican Ing. Gustavo Rodríguez Elizarrarás assumed his functions as Executive Secretary on October 30th. The official ceremony of inauguration acquitted great significance thanks to the presence of national authorities from Ecuador and representatives of the diplomatic corps in that country, as well as that of official delegations sent by the Member Countries.

The new Executive Secretary, who takes over from the Bolivian Carlos Miranda Pacheco, is a young petroleum



Ing. Rafael Decelis: "Chancillería mexicana ofrece su sistema de cómputo a OLADE, mediante terminal en Quito"

Mr. Rafael Decelis: "Mexican Chancery offers its computation system to OLADE, through a terminal in Quito"



un joven ingeniero petrolero de 37 años, con una trayectoria profesional de 10 años y sólida formación en el área energética, como master en Economía de la Energía (Universidad de Grenoble, Francia, 1972).

"Hombre de acción" —como se define— Rodríguez Elizarrarás declaró en su discurso de asunción que "cada vez se percibe con mayor claridad la necesidad imperiosa" de que los pueblos de América Latina actúen frente a los problemas que los aquejan. Y la OLADE, como medio —señaló— "es el organismo regional identificado en sus objetivos y propósitos con la indeclinable defensa de los recursos naturales de nuestros países latinoamericanos y de su justo aprovechamiento como motor indiscutible de su desarrollo".

No obstante la diversidad económica de la

región, su desequilibrio energético, OLADE está llamada a cumplir un papel importante en su autosuficiencia tecnológica. En este aspecto —señaló— el Organismo se ha manifestado "hacia la necesidad de reforzar el desarrollo de la fabricación regional de bienes de capital para el sector energético, así como asegurar una transferencia tecnológica que garantice la independencia del desarrollo de nuestros países".

La posición de organismo tercermunita de OLADE fue reiterada una vez más por su nuevo Secretario Ejecutivo al declarar finalmente "nuestra fraternidad con todos los países. A los desarrollados les pedimos trato justo y les ofrecemos reciprocidad; a los que están en vías de desarrollo, les pedimos confianza y les ofrecemos nuestra solidaridad".

Engineer, 37 years old, with ten years of professional experience and a wide knowledge of the field of energy matters, with a Masters degree in Energy Economics from Grenoble University in France (1972).

Rodríguez defines himself as "a man of action", and declared in his acceptance speech that "there is an urgent need that becomes clearer every day" for the Latin American countries to react to the problems that they are facing. And OLADE, he said, "is the regional organization that identifies itself with the objectives and aims of these countries in untiring defence of the natural resources of Latin America and their just exploitation as an indubitable spur to development."

Despite the economic

diversity in the region, and despite the energy imbalance that exists, OLADE is answering a call for technological self-sufficiency. From this point of view, the organization "is aware of the need to reinforce local capital gains development within the energy sector, and to ensure a technological transfer which will guarantee the independent development of our countries."

The position of the Third World organization of OLADE was once again made clear by its Executive Secretary when he ended his speech with a reference to "our fraternity with all countries. From the developed countries we expect fair treatment, and we offer the same, we ask them to have faith in us, and we offer them our cooperation."

ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS DISCURSOS PRONUNCIADOS POR EL MINISTRO DE RECURSOS NATURALES DEL ECUADOR, GENERAL EDUARDO SEMBLANTES, Y POR EL ING. RAFAEL DECELIS, DE MEXICO, EN LA CEREMONIA DE TOMA DE POSESION

IMPORTANT ASPECTS OF THE SPEECHES MADE BY THE ECUADORIAN MINISTER OF NATURAL RESOURCES, GENERAL EDUARDO SEMBLANTES, AND BY ING. RAFAEL DECELIS OF MEXICO IN THE CEREMONY OF TAKING POSSESSION OF THE EXECUTIVE SECRETARY

Ministro Semblantes: CONFIANZA EN EL NUEVO CURSO DE ACCION

El Ministro Semblantes Polanco expresó sus mejores augurios por la superación de OLADE en la búsqueda de sus altos objetivos.

*"Esta ceremonia tiene especial importancia dentro del desarrollo institucional de OLADE, pues coincide con la terminación de un curso de actividades de la Secretaría Permanente y a la vez con el inicio de un período que indudablemente será de gran trascendencia para el desenvolvimiento de la organización.*

*Precisamente durante estos dos últimos años las conferencias de ministros y las juntas de expertos, conjuntamente con la Secretaría Permanente, se han empeñado decididamente en adecuar los programas de la organización a la realidad energética continental y mundial y a las perspectivas que pre-*

*senta este sector para el futuro. Fruto de estos esfuerzos es la nueva orientación de trabajo que aprobó la IX Reunión de Ministros en México, la misma que entrará en ejecución a partir del próximo año.*

*En este proceso, estamos seguros que la gestión del señor ingeniero Gustavo Rodríguez contribuirá notablemente al desenvolvimiento eficiente de OLADE, por lo que me es grato felicitarle por su designación como Secretario Ejecutivo y ratificar con esta oportunidad que el gobierno del Ecuador y especialmente el Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos estarán siempre dispuestos a prestar la colaboración que sea necesaria a la Secretaría Permanente, tanto por el honor de ser su sede como por que es plenamente solidario con los fines y propósitos de la Organización Latinoamericana de Energía.*

Minister Semblantes: CONFIDENCE IN THE NEW COURSE OF ACTION

General Semblantes Polanco expressed his best wishes for the success of OLADE in achieving its high ideals.

"This ceremony is of particular importance within the institutional development of OLADE, as it coincides with the end of a series of activities performed by the Permanent Secretariat, and, at the same

time, with the beginning of a new period which will doubtless be of great importance for the future development of the Organization.

In the past two years, the Ministerial Meetings and the Council of Experts, in conjunction with the Permanent Secretariat, have made great efforts to bring up to date the organizational programmes in

Continues in page 104

Ing. Decelis: ABRIR EL CAMINO HACIA LA DESCOLONIZACION

El ingeniero Rafael Decelis Contreras, en representación del Canciller de México, Lic. Santiago Roel, expresó en su discurso los fundamentos de la presencia de su país en el seno de OLADE, la que se basa "en su invariable postura internacional". Al respecto señaló:

*"Estamos por autodeterminación de los pueblos. Porque sufrimos de la colonización podemos, con pleno conocimiento, condenarla en todas sus formas.*

*Por ello, y nuestra historia es testigo, hemos luchado, luchamos y lucharemos contra toda forma de coloniaje, ya sea ésta física o intelectual. Por eso México participa activamente en cualquier organismo internacional que tienda a lograr una mejor independencia de nues-*

*tros pueblos. Por todo esto, apoyamos a OLADE.*

La forma de llegar a la descolonización y a una independencia más justa de los países latinoamericanos —dijo Decelis— es a través de la integración, de la toma de decisiones soberanas para integrar sistemas más complejos, más ambiguos, más universales, como el SELA, ARPEL y OLADE.

Finalmente, hizo presente el ofrecimiento del canciller mexicano de poner a disposición de OLADE el sistema de cómputo de la Secretaría de Relaciones Exteriores, mediante una terminal en Quito. Dicho sistema permitiría al Organismo regional obtener amplia información técnico-política sobre asuntos energéticos

Eng. Decelis: A WAY LEADING TOWARDS DECOLONIZATION

Rafael Decelis Contreras, on behalf of the Mexican Foreign Minister, Santiago Roel, declared in his speech that the reasons for his country's presence in OLADE were based upon "our constant international position", and added:

"We believe in the right of a country to decide its own future. Because we have suf-

fered from colonization of its manifestations.

For this reason — and our country's history is a witness to this — we have fought, we are fighting and we shall continue to fight against colonialism in all its forms, whether they be physical or intellectual. For this reason, Mexico is anxious to participate in any international organization that has

Continues in page 104

# JUNTA DE EXPERTOS ESTRUCTURA

Con resultados fundamentales para la futura marcha política y administrativa del organismo regional de integración, la VIII Junta de Expertos de OLADE culminó a fines de noviembre sus sesiones de trabajo desarrolladas en la ciudad de Ibarra, a 135 km de Quito. Las recomendaciones surgidas plantean el fortalecimiento de la acción institucional mediante reformas sustanciales a la actual estructura orgánica y funcional de su Secretaría Permanente y en el respaldo a la gestión de su Secretario Ejecutivo.

La clausura del evento, al que asistieron 23 delegados en representación de 12

países miembros, fue presidida por el Subsecretario de Recursos Naturales y Energéticos, ingeniero Ney Mancheno, quien destacó en su discurso que "la problemática actual de la energía a nivel mundial y latinoamericano" ha impulsado a los gobiernos representados en OLADE a una reinterpretación de "sus funciones, sus lineamientos y políticas, necesaria para encarar en forma definitiva los requerimientos energéticos de la región".

## CONCLUSIONES

La identificación de los programas de trabajo dentro de las cuatro áreas priorizadas por la IX Reunión de Ministros celebrada en

septiembre pasado en México "Economía y Planificación Energéticas, Diversificación de Fuentes de Energía, Información y Difusión y Cooperación y Capacitación— fue uno de los acuerdos de esta cita.

A su vez, la adecuación presupuestaria por programas estuvo orientada a la consolidación política y administrativa de la Secretaría Permanente.

Dentro de este nuevo esquema, la Junta recomendó a la Secretaría Permanente desarrollar los programas con el concurso de expertos de los países miembros. De tal manera, se conformarán grupos de trabajo multinacionales, existien-

do ya el compromiso de Brasil y Venezuela para participar en la elaboración del programa Inventarios y Balance Energéticos, así como el de Ecuador y México en todos aquellos en que eventualmente fuera necesaria su aportación.

Al margen del fortalecimiento de la gestión administrativa, se consolidó la importancia estratégica que la Secretaría Permanente asigna a la planificación energética, mediante el acuerdo de establecer una unidad que tendrá a su cargo "la coordinación y promoción de acciones que tiendan a la racional producción, transformación y utilización de los recursos energéticos de los

Estados Miembros". Este programa de Planificación y Proyectos consulta los siguientes subprogramas: Inventarios y Balance Energéticos; Análisis y Perspectivas Energéticas en América Latina y Racionalización del Uso y Ahorro de la Energía. Sus objetivos implican definir la potencialidad energética regional, así como la estructura de producción y consumo actual de la energía en el área.

La Industrialización y Bienes de Capital fue otro de los programas considerados, en razón de la importancia que reviste para los proyectos económicos y técnicos del sector energético y a la necesidad de coordinarlos

## BOARD EXPERTS DEFINES



The VIII Council of Experts ended their work sessions in the city of Ibarra, 135 km. from Quito, at the end of November, with important results for the future political and administrative progress of the regional integration organization. The recommendations made there seek to strengthen institutional action through sweeping reforms in the present organic and functional structure of the Permanent Secretariat, and in response to efforts made by the Executive Secretary.

member countries were present at the event, and the closing ceremony was presided over by the Undersecretary of National Energy Resources, Ney Mancheno, who emphasized in his speech that "the present problems facing energy at world and Latin American level" have led the governments represented in OLADE to re-interpret "their functions, their attitudes and policies in order to be able to face the energy requirements of the region."

## CONCLUSION

23 delegates from 12

One of the agre-

# NUEVA MARCHA DE LA ORGANIZACION



con los programas nacionales de industrialización y, fundamentalmente, con el desarrollo de bienes de capital en esta área.

En esta nueva estructuración programática se dio especial relevancia al desarrollo de "servicios de apo-

yo", los que a través de acciones regionales de información y difusión configurarán adjetivamente la imagen del organismo.

Asimismo, se manifestó el interés por promover y desarrollar proyectos energéticos en el campo de

las energías no convencionales. Este objetivo se verá reforzado con acciones emprendidas por la Secretaría Permanente en orden de captar fondos extrapresupuestarios que permitan su implementación.

Respecto de la re-

estructuración orgánica de la Secretaría Permanente, la Junta acordó conveniente que se reúna un grupo de trabajo conformado por expertos en organización y administración, con el objeto de profundizar el estudio sobre el proyecto que propuso la propia Se-

cretaría. El trabajo resultante de este grupo —de amplia representatividad de países— facilitará la aprobación de la referida reestructuración por la próxima Reunión de Ministros, a celebrarse en septiembre de 1979 en Panamá.

## FUTURE OF ORGANIZATION

ements of this meeting was the establishment, within the work programmes, of four areas of priority, as decided in the IX Ministerial Meeting held in Mexico last September: Energy Economy and Planning, Diversification of Energy Sources, Information and Diffusion, and Cooperation and Training.

In the same way, the programme budget was directed towards the political and administrative consolidation of the Permanent Secretariat.

Within this new

scheme, the Council recommended that the programmes should be developed in coordination with the experts of the countries involved. Multinational work groups will thus be formed, and Brazil and Venezuela have already committed themselves to taking part in the Energy Inventory and Balance programming activities, as has Ecuador in all activities where her participation may be deemed necessary.

In addition to strengthening the administrative position, the strategic importance of

energy planning was also underlined by an agreement to establish an organization responsible for "coördination and promotion of activities leading to a rational production, transformation and exploitation of the energy resources of the Member Countries. "This planning and projects programme embraces the following sub-divisions: Energy Inventory and Balance, Energy Analysis and Prospects in Latin America, and Rational Use and Saving of Energy. Among its aims is that of defining regional energy potential, as well as that of

examining the present production and consumption of the area.

Industrialization and Capital Goods also came under consideration, because of their importance in the economic and technical projects within the energy sector, the need to coordinate them with national industrialization programmes, and, above all, the development of Capital Goods in this area.

Interest was shown in promoting and developing energy projects in the field of non-conventional resources.

With reference to

the organic restructuring of the Permanent Secretariat, the Council agreed that a work group should be set up, formed of experts in organization and administration, in order to study the project proposed by the Secretariat. The results obtained by this group — composed of representatives of many different countries— will facilitate the acceptance of the proposed restructure at the next Ministerial Meeting, to be held in Panama in September, 1979.



QUITO, noviembre 14  
GOBIERNO OFRECE RESPALDO

El presidente del Consejo Supremo de Gobierno, almirante Alfredo Poveda, ofreció el respaldo oficial de su gobierno a OLADE y su nueva administración "para el mejor cumplimiento de sus objetivos", durante la primera entrevista sostenida con el Secretario Ejecutivo del Organismo, tras su designación en el cargo.

QUITO, noviembre 16  
CON MINISTRO SEMBLANTES

En su primera entrevista oficial, ambos funcionarios departieron sobre asuntos relacionados con materias energéticas e intercambiaron ideas tendientes a la mejor marcha del organismo regional.

QUITO, noviembre 22  
CANCILLER COMPROMETE AMPLIO RESPALDO

La consolidación política de la Organización Latinoamericana de Energía, a través del reconocimiento de su rol como organismo de integración estratégico, fue el tema abordado entre el Ministro de Relaciones Exteriores del Ecuador, Licenciado José Ayala Lasso, y el Secretario Ejecutivo de OLADE, Ingeniero Gustavo Rodríguez Elizarrarás.

En esta primera entrevista, luego de la toma de posesión de su cargo, el Ing. Gustavo Rodríguez Elizarrarás dio a conocer al Canciller los nuevos planes de trabajo que emprenderá la Secretaría Ejecutiva del Organismo, cuya importancia es tanto más vigente por cuanto hoy "la energía es y seguirá siendo el elemento decisivo de las negociaciones y discusiones políticas del mundo en su contexto general, como de los intereses tercermundistas".

Por su parte, el Canciller Ayala Lasso coincidió en que es urgente el reforzamiento de OLADE mediante acciones inmediatas "para proyectar su imagen y su labor como un fuerte instrumento político dentro del ámbito regional y mundial". En este plano reiteró el apoyo decidido que el gobierno del

Ecuador —como país sede— prestará a la Secretaría Permanente, a fin de facilitar el logro de sus objetivos y de su programa de trabajo.

#### FORO DE DEFENSA DE LA SOBERANIA

Rodríguez Elizarrarás reiteró al Canciller la plena vigencia de OLADE, y el reconocimiento que de este principio hace su Convenio Constitutivo, en cuanto a foro y mecanismo de cooperación y coordinación "en las medidas que los países de la Región hayan adoptado o adopten en ejercicio de su soberanía territorial y en resguardo de sus recursos naturales, particularmente los energéticos".

QUITO, noviembre 20  
OPEP RESPALDA A ORGANISMOS DE  
INTEGRACION TERCERMUNDISTAS

En la entrevista sostenida con Rodríguez Elizarrarás, durante su reciente visita al Ecuador el Ministro de Petróleos de Kuwait, Alí Khalifa Al-Sabah le manifestó la disposición de la OPEP para otorgar apoyo a la OLADE, por su carácter de organismo integracionista de países en desarrollo. En este sentido precisó que siempre existirá un vasto campo para la coordinación técnica entre ambas partes, mediante el intercambio de información tecnológica y de personal técnico, lo cual se podría concretar próximamente.

QUITO, diciembre 8  
OLADE FIRMA CONVENIO DE COOPERACION  
CON FRANCIA

Un convenio de cooperación para la investigación en el campo de las energías renovables no convencionales suscribió recientemente la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) con el Comisariato de la Energía Solar (COMES), de Francia.

El Secretario Ejecutivo del organismo regional firmó el documento respectivo en Quito, capital sede de la Secretaría Permanente de OLADE, en una ceremonia a la que asistieron el Encargado de Asuntos Internacionales del COMES, Jacques Subrenat, y el Agregado Cultural y de Cooperación Técnica de la Embajada de Francia en el Ecuador, Bernard Richard. En igual acto, el presidente del ente gubernamental francés, Henry Durand, suscribirá el acuerdo en París, en presencia del coordinador técnico de OLADE, ingeniero Francisco Monteverde.

En primera instancia expertos del COMES se incorporarán, a partir de febrero próximo, al grupo de trabajo ad-hoc que la Secretaría Permanente de OLADE formará para la elaboración de un programa regional de energías renovables no convencionales.

**QUITO, November 14  
GOVERNMENT OFFERS SUPPORT**

The President of the Supreme Government Council, Admiral Alfredo Poveda, offered the official support of his Government to OLADE and to its new administration "for the better fulfillment of its objectives", during the first interview held with the Executive Secretary of the Organization, after his designation to this position.

**QUITO, November 16  
WITH MINISTER SEMBLANTES**

In its first interview, both officials talked about matters related to energy and interchanged ideas intended to the better progress of the regional organism.

**QUITO, November 22  
FOREIGN MINISTER PROMISES  
WIDE SUPPORT**

The political consolidation of the Latin American Energy Organization, through the recognition of its role as a strategic integration organization, was the subject of talks held between the Foreign Minister of Ecuador, Jose Ayala Lasso, and the Executive Secretary of OLADE, Gustavo Rodríguez Elizarrarás.

After being installed as Executive Secretary, Gustavo Rodríguez Elizarrarás informed the Chancellor, in their first interview, of the new work plans undertaken by the Executive Secretary of the Organization, of greater importance than ever before in the modern world, as "energy is, and will continue to be, the decisive element in political negotiations and discussions in the world as a whole, as it is also in the interests of the Third-World countries."

Chancellor Ayala Lasso agreed that it was an urgent need to strengthen OLADE immediately by actions intended to "project the image and the work of the Organization as a strong political implement at regional and world levels." For this reason he reiterated the offer of determined support which the Ecuadorian Government — as the government of the Headquarters country — will give to the Permanent Secretariat, in order to facilitate the achievement of its aims as stated in its work programme.



**QUITO, November 20  
OPEC BACKS THIRD WORLD  
INTEGRATION ORGANISMS**

In the interview held with Rodríguez Elizarrarás, during his recent visit to Ecuador, the Minister of Oil Kuwait, Ali Khalifa Al-Sabah, stated the disposition of OPEC to give support to OLADE, for its character of integrationist organism of developing countries. In this sense he precised that it will always exist a vast field for technical coordination between both organisms, through the interchange of technical information and technical personnel, which could be performed proximately.

**QUITO, December 8  
OLADES SIGNS COOPERATION  
AGREEMENT WITH FRANCE.**

A cooperation agreement for research in the field of non-conventional renewable energy has been signed recently by the Latin American Energy Organization (OLADE) and the French Solar Energy Commission (COMES).

The Executive Secretary of the regional organism signed the document of agreement in Quito, Headquarters of the Permanent Secretariat of OLADE, in a ceremony in the presence of the International chargé d'affaires of COMES, Jean-Jacques Subrenat, and the Cultural and Technical Cooperation attaché of the French Embassy in Ecuador, Bernard Richard. In a similar ceremony, Henri Durand, president of the French government body, will sign the agreement in Paris, in the presence of the technical coordinator of OLADE, Francisco Monteverde.

In the first place, experts from COMES will form part of the ad-hoc work group, as of next february, to be formed by the Permanent Secretariat of OLADE in order to elaborate a regional programme of non-conventional renewable energy sources.

EN MARCHA PROGRAMA REGIONAL DE  
GEOTERMIA

Como una alternativa real que combinada con la hidroelectricidad ayudaría a disminuir nuestra actual dependencia de los hidrocarburos, califica la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) la explotación y uso de la energía geotérmica. El Ecuador, conjuntamente con Perú, República Dominicana y Haití serán los primeros países favorecidos por el Programa Regional de Geotermia que impulsará la Secretaría Permanente del Organismo, con posible asistencia financiera de la Comunidad Económica Europea (CEE).

Dentro de las llamadas fuentes alternativas de energía, OLADE ha puesto especial énfasis en la geotermia, para lo cual emprendió un análisis de la situación en que se encuentra su estado de exploración. Frente a la realidad observada —dijo Rodríguez— hemos lanzado la iniciativa de elaborar un esquema metodológico de exploración fácilmente adaptable a nuestros países.

Las actividades de exploración en los cuatro países mencionados, se iniciarán los primeros meses de 1979, en su fase de reconocimiento. A este primer paso —señaló Rodríguez— le seguirán la etapa de prefactibilidad, que abarcará 14 meses para la perforación de pozos someros, y luego, la de factibilidad. Ambas fases se desarrollarían entre 1980 y 1982.

Los otros países incluidos en el programa geotérmico de OLADE son Honduras, Bolivia y Panamá, esperándose culminar las etapas ya iniciadas en éstos. "La amplitud y mayor cobertura que se logre del programa está condicionada, sin embargo, a la captación de financiamiento que nos hemos propuesto, y que se inició con la aprobación otorgada por el Fondo Especial de Desarrollo de la CEE a este proyecto, en octubre"—manifestó el ingeniero Rodríguez.

REGIONAL GEOTHERMICS PROGRAMME  
UNDER WAY

The Latin American Energy Organization (OLADE) has described the exploitation and use of geothermic energy as a viable alternative which, combined with hydro-electricity, could do much to reduce our present dependence on hydrocarbons. Ecuador, together with Peru, the Dominican Republic and Haiti will be the first countries to profit from the Regional Geothermics Programme, which is to be set in motion by the Permanent Secretariat of the organization, with the possibility of financial assistance being forthcoming from the Commission of the European Communities. (CEC)

Within the so-called alternative energy sources, OLADE has placed special emphasis on geothermics, and for this reason has undertaken an analysis of the situation of present exploration. Rodríguez said that, having taken note of the reality of things, we have begun to elaborate a methodological scheme of exploration, easily adaptable to our countries.

Exploration activity in the four countries mentioned above will begin in the first months of 1979, at a reconnaissance phase. Rodríguez indicated that after this initial stage would come that of pre-feasibility studies, necessitating 14 months for the perforation of shallow wells, and later, the feasibility study. Both of these secondary stages are to be developed between 1980 and 1982.

The other countries included in the OLADE geothermics programme are Honduras, Bolivia and Panama, and it is hoped to terminate the stages already begun in these countries. Rodríguez indicated, nevertheless, that the limitations and best possible coverage of the programme depend upon the funds obtained, according to the proposed budget, and that the programme was begun with the approval of the Special Fund of the Commission of the European Communities in October.

from page 99

the face of the true continental and world energy situation, as well as the future perspectives in this field. As a result of this effort, there is the new work scheme, approved by the IX Ministerial Meeting in Mexico, which will come into force as of next year.

In this process, we firmly believe that the work done by Ing. Gustavo Rodríguez will contribute greatly to the efficient progress of

OLADE, and it gives me great pleasure for this reason to congratulate him upon his appointment as Executive Secretary, and I also take advantage of this opportunity to reiterate that the Ecuadorian Government, and the Minister of Natural and Energy Resources, are always ready to collaborate in any way possible with the Permanent Secretariat, partly because it is an honour to be representing the country which

acts as the Headquarters of the Organization, and also because we are in absolute agreement with the aims and purposes of the Latin American Energy Organization.

from page 99

among its aims that of helping our countries to achieve a greater degree of independence. This is why we support OLADE.

The path towards de-colonization and a more just independence among the Latin American countries, Decelis added, is through integration, through the taking of independent decisions in order to set up more complex, more ambitious and more universal bodies such as

SELA, ARPEL and OLADE.

Finally, he offered, on behalf of the Mexican Foreign Minister, to place the computer system of the Secretariat of External Affairs at the disposal of OLADE, by means of a terminal in Quito. This system will enable the local organization to obtain a wide range of information, both technical and political, in energy matters.