



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

CONSIDERACIONES SOBRE EL USO DE LAS FUENTES DE ENERGIA NO CONVENCIONALES SU DESARROLLO E IMPORTANCIA, A NIVEL MUNDIAL Y SU RELACION CON LA REPUBLICA MEXICANA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A :
GUILLERMO ADAME MOLINA

MEXICO, D. F.

JUNIO 1990

TG90836



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS:

Deseo expresar mi gratitud al mtro. Jorge Rivera Aceves, Asesor de la tesis, por sus opiniones y sugerencias concedidas durante el desarrollo de la misma; a los Drs. Martha Cervantes Ramírez y Genaro Correa Pérez, por las valiosas observaciones realizadas al trabajo. Asi mismo también deseo patentizar mi agradecimiento al Dr. Juan Carlos Gómez Rojas y a la Mtra. María Eugenia Villagómez Hernández, por su confianza al haber aceptado -- ser sinodales en la presentación de este trabajo.

A las Sritas. Lourdes Fragozo y Lucía E. Adame por su apoyo en la realización de las primeras versiones mecanógraficas, así como también a la Srita. Lucía Salinas Morales, por su tiempo y -- esfuerzo invertido en la versión mecanográfica final.

A los trabajadores de la biblioteca de CONACyT de Insurgentes -- por su apoyo en la detección de información.

A mis amigos y compañeros y a todas aquellas personas que de -- una forma u otra me ayudaron y alentaron en el cumplimiento de -- ésta meta.

a Alicia y Rafael mis padres.
a Francisco, Martha, Mercedes,
Miguel, Silvia, Juan Carlos, Da-
vid R. y Lucía E., mis hermanos.
a Leonardo, nuestra esperanza.

I N D I C E

	Página
INTRODUCCION	11
CAPITULO I. EL FLUJO DE ENERGIA EN EL UNIVERSO.	
1.1 El Flujo de Energía en el Universo.....	11
1.2 Las Energías Terrestres y la transformación de la Energía	23
1.3 Uso de los Recursos Energéticos y Paradigmas Tecnológicos.....	32
CAPITULO II. LA ENERGIA SOLAR USADA DIRECTAMENTE	
Introducción	36
2.1 La Energía Solar.	
2.1.1 Antecedentes Históricos	38
2.1.2 Las Características Generales de la Energía Solar y Algunos de -- sus usos importantes	45
2.1.3 Uso e Investigación de la Energía Solar en la República Mexicana.	71
2.2 La Energía Procedente de la Biomasa.	
2.2.1 Antecedentes Históricos.....	81
2.2.2 Tecnologías para el Aprovechamiento de la Energía Derivada de la- Biomasa y Uso más común	83
2.2.3 La investigación sobre Energía Derivada de la Biomasa en la Repú- blica Mexicana.....	102
2.3 Conclusiones del Capítulo	105

CAPITULO III. LA ENERGIA SOLAR APROVECHADA DE FORMA INDIRECTA.

Introducción.....	108
3.1 La Energía Contendida en las Olas.	
3.1.1 Usos y Formas de Aplicación de la Energía Contendida en las Olas.....	112
3.1.2 La investigación realizada en la República Mexicana de la Energía - Contendida en el Oleaje Marino.....	120
3.2 La Energía Mareomotriz.	
3.2.1 Los Usos y Formas de Aplicación	124
3.3 La Energía Térmica de los Océanos.	
3.3.1 Antecedentes Históricos.....	129
3.3.2 Los Usos y Formas de Aplicación	131
3.4 La Energía Eólica.	
3.4.1 Antecedentes Históricos.....	137
3.4.2 La Tecnología más común empleada para el Aprovechamiento de la ener- gía Eólica	145
3.4.3 La investigación que sobre Energía Eólica se realiza a Escala Mun- dial.....	151
3.4.4 El Potencial Eolo-energético y su Nivel de Aprovechamiento en la Re- pública Mexicana.....	158
3.5 Conclusiones del Capítulo.....	166
CAPITULO IV. LOS TIPOS DE ENERGIA NUCLEAR Y LA GEOTERMIA.	
Introducción.....	172
4.1 La Fisión Nuclear.	
4.1.1 Antecedentes Históricos.....	175

	Página.
4.1.2 El Proceso de Fisión Nuclear	181
4.1.3 Perspectivas del Desarrollo de la Energía Nuclear.....	198
4.1.4 El Desarrollo de la Energía de Fisión Nuclear en la República- Méxicana.....	202
4.2 La Fusión Nuclear.	
4.2.1 Antecedentes Históricos.....	215
4.2.2 El Proceso de Fusión Nuclear.....	220
4.2.3 La Investigación sobre Fusión Nuclear y Perspectivas de Desa- rrollo.....	235
4.3 La Energía Geotérmica.	
4.3.1 Antecedentes Históricos	238
4.3.2 Los Usos y el Aprovechamiento de la Energía Geotérmica.....	245
4.3.3 La Investigación y Perspectiva de Desarrollo de la Energía -- Geotérmica.....	254
4.3.4 La Investigación y Desarrollo de la Tecnología Aplicada al -- Aprovechamiento de la Energía Geotérmica en la República Mexi- cana.....	263
4.4 Conclusiones del Capítulo	276
CONCLUSIONES	283
BIBLIOGRAFIA.....	305

INTRODUCCION

El presente estudio denominado "Consideraciones sobre el uso de las fuentes de energía no convencional; su desarrollo e importancia a nivel mundial y su relación con la República Mexicana", se origina con la idea de conformar, en un solo escrito información referente a las fuentes de energía denominadas como no convencionales.

En este documento, se presenta una división inicial de las fuentes de energía primaria en convencionales y no convencionales. A las fuentes de energía convencional se les puede definir de la siguiente manera:

Son las fuentes de energía primaria que en este momento conforman el soporte fundamental del capital energético mundial; y son sus principales contribuyentes los hidrocarburos (petróleo, gas natural, así como los derivados de ambos), el carbón mineral y la energía hidroeléctrica.

Las fuentes de energía no convencional, pueden ser definidas como aquellos recursos que, aunque tienen un origen diverso, presentan condiciones similares de desarrollo tecnológico en relación a su explotación (la excepción de este hecho esta dado por la tecnología desarrollada para aprovechar los procesos de fisión nuclear), considerando que en relación, a las fuentes de energía convencio-

nal estas primeras se encuentran en una posición marginal. Algunos autores al hacer referencia a estos recursos los denominan como fuentes de energía terrestre; sin embargo, esta denominación es ambigua, ya que también sirve para designar a los recursos convencionales.

Con objeto de contextualizar el uso de estos recursos energéticos, es conveniente precisar algunas condiciones específicas que han determinado, tanto la intención central del estudio como la finalidad del mismo; algunas de estas son las siguientes:

- La necesidad de ubicar el uso del recurso desde una breve perspectiva histórica; en ella se incluyen antecedentes históricos en relación al uso del recurso, con objeto de presentar información antecedente que ubique su uso en relación a la situación actual.
- En primer momento se presenta una idea global del uso del recurso, con objeto de visualizar su importancia general para que, posteriormente, se pueda particularizar su uso bajo el contexto del desarrollo de nuestro país, es decir, se parte de lo general a lo particular.
- Considerar la posibilidad de aprovechar realmente el recurso en relación tanto al grado de desarrollo tecnológico alcanzado, así como la posibilidad de que la sociedad en su conjunto pueda

utilizarla.

- Con efecto de visualizar la importancia que tendrá estos recursos en un futuro a corto, mediano y largo plazo es importante - saber cuál será su aporte al capital energético mundial y con - esto proponer estrategias que posibiliten su desarrollo.

En relación a la energía generada por los procesos hidroeléctri--cos, es conveniente remarcar que, aún cuando esta es generada por efecto de la energía gravitacional y la solar, al poner en acción el ciclo hidrológico, es lógico pensar que dicho recurso debería-- quedar incluido en el estudio; sin embargo, los criterios para -- considerar su exclusión son las siguientes:

- Se cuenta con suficiente información acerca del recurso.
- Por lo general se le relaciona con los recursos energéticos con vencionales.
- Su aportación al capital energético mundial es significativo, - por lo tanto, su importancia se hace manifiesta por sí misma.

Otra observación importante a considerar es la que se refiere al-- hecho de que, en el plan de estudios actual de la licenciatura en Geografía, que imparte la Facultad de Filosofía y letras de la -- UNAM; específicamente las asignaturas siguientes: Conservación de los Recursos Naturales Básicos y Prácticas I y II y Ecología de - los Recursos Naturales Básicos I y II, no contienen dentro de la-

estructura programática los contenidos que hagan referencia a los recursos energéticos convencionales; por lo tanto, es posible comprender que la información correspondiente al tratamiento de los contenidos relacionados con las fuentes de energía no convencional son prácticamente inexistentes.

Por lo tanto una de las intenciones del estudio es posibilitar la ampliación de los programas de estas asignaturas con los aportes que este escrito pueda proporcionar.

Como una actividad posterior a la definición del objeto de estudio, así como a la necesidad de precisar la intención del trabajo se procedió a definir un conjunto de objetivos que tienen la intención de guiar la correcta realización del trabajo, por ello se incluyen en esta introducción con la idea de proporcionar más elementos que coadyuven a su correcta interpretación.

- Conformar un panorama general del uso de las fuentes de energía no convencional, en el contexto mundial y en el de la República Mexicana en lo particular.
- Reflexionar sobre la posibilidad real de uso de los recursos energéticos, así como sus expectativas de consumo bajo la circunstancia mundial actual.
- Examinar la importancia que tendrá la aportación de estos recur-

recursos energéticos al ámbito del capital energético mundial.

- Evaluar el efecto que provoca en los ecosistemas naturales alejados el proceso de explotación de estos recursos.

El estudio se realizó con la intención de realizar una revisión del material bibliográfico existente acerca del tema escogido; -- por lo tanto, fue necesario formular una serie de hipótesis de -- trabajo con objeto de darle al escrito una intención definida, -- así como cohesión interna, además de buscar posibilidad concreta en el uso del recurso, tomando en cuenta todos los factores anteriores se definieron las siguientes hipótesis de trabajo:

- Tomando como premisa el desarrollo de la Sociedad y el de la -- tecnología, observar la posibilidad del uso de los recursos -- energéticos no convencionales dentro del ámbito internacional -- en lo general, y el de nuestro país en lo particular.
- Los recursos energéticos no convencionales en su conjunto representan una posibilidad de sustituir a los combustibles tradicionales, a mediano y largo plazo.
- El carácter limpio del recurso, no provocará resistencias ambientales en los ecosistemas locales, ni a la población humana de las localidades cercanas a donde se lleve a cabo su explotación.

6

- La explotación de los mencionados recursos modificará el uso -- del suelo en aquellas regiones geográficas en donde esta se lleve a cabo.

Antes de realizar el comentario referido a la metodología empleada, es conveniente puntualizar el siguiente considerando; este -- trabajo por la conveniencia misma de su objeto de estudio que, como ya se ha mencionado, no ha sido sujeto de una investigación -- experimental; el ámbito en el que fue pensado, es más bien el de -- realizar un trabajo de síntesis, lo que a juicio del autor significa, el hacer acopio de toda la información obtenida y someterla a un proceso de clasificación, y posteriormente sintetizarla para conformar con ella la estructura y el contenido de cada uno de -- los capítulos.

Por lo tanto, es conveniente mencionar que el trabajo en su con-- junto, es un intento por incluir en él, estos recursos energéti-- cos no convencionales, los que por su origen diverso, fueron un - tanto difíciles de agrupar en los capítulos en los que quedarán - incluidos.

La metodología empleada en la realización del presente trabajo siguió, dentro de un esquema general las siguientes líneas de ac-- ción:

- En un primer momento se delimitó el objeto de estudio, así como

... las hipótesis que se habrían de desarrollar.

- En un segundo momento se procedió a reunir la información pertinente en relación al objeto de estudio.
- Se conformó y organizó el respectivo fichero temático con la información recopilada.
- En base a los criterios de los autores revisados; así como a las sugerencias y observaciones del asesor, se procedió a organizar tanto la estructura como el contenido del trabajo.
- Se elaboró un índice de trabajo inicial por capítulo, con objeto de desarrollar cada uno de los temas incluidos.
- Se decidió incluir dos tipos de conclusiones: las primeras, serán de carácter parcial y quedarán incluidas en cada una de los capítulos; las segundas, son de carácter global y conforman conjuntamente el último capítulo.

Las ideas y criterios que sirvieron como puntos de unión, en relación a la conformación de los capítulos son los siguientes:

- En un primer momento, se tuvo en cuenta el que los recursos - - energéticos tuviésem un origen común; por ejemplo: para el caso de la energía solar directa se conjuntó a los tipos de uso de -

la energía solar directa, así como la producida a través de la biomasa.

- En cuanto a los autores consultados, se observó que algunos presentan semejanza en la estructuración de los contenidos de sus escritos; este criterio se reafirmó con la confrontación de los diversos autores que se manejan en el estudio. En la estructuración se siguieron las ideas de los siguientes autores: M. King-Hubbert; Mc Mullan, Morgan y Murray y principalmente Gerald Foley y Charlotte Nassim, quienes proporcionaron las ideas centrales para la conformación de los capítulos.

- Se tomaron en cuenta las observaciones y propuestas del asesor, Profr. Jorge Rivera Aceves, con la idea de definir la estructura dada al estudio.

En cuanto al contenido, el capítulo primero engloba cuatro incisos, en el primero de ellos se presenta una introducción al capítulo; en el inciso segundo se hace una breve mención a la forma en como se origina y transforma la energía en el Universo, así como definir cuáles de las energías cósmicas están presentes también en nuestro planeta; en el tercero, se hace referencia al tipo de energías denominadas terrestres, así como su transformación; por último, en este inciso se establece una relación entre el uso de estos recursos y los paradigmas tecnológicos que hacen posible su aprovechamiento.

Cabe señalar que también los capítulos, segundo, tercero y cuarto presentan conjuntamente una breve introducción al capítulo, una referencia tendiente a precisar algunos antecedentes históricos importantes en relación al uso del recurso, otra a definir algunas características físicas del recurso, la siguiente menciona en lo general el uso del recurso, lo cual conlleva en ello una perspectiva de nivel de aprovechamiento a nivel mundial, así como en el contexto de nuestro país, la última parte, hace referencia a las conclusiones particulares del capítulo.

En el último capítulo, se incluyen las conclusiones generales obtenidas de la realización del trabajo, los comentarios son elaborados en forma global y están presentes todos los recursos considerados en el estudio.

Al hacer uso de los recursos energéticos se establece una relación directa con el entorno natural, ya que la energía al degradarse a su fase final, provoca una serie de alteraciones en el ambiente inmediato. La anterior situación determina un cambio en las condiciones ambientales promedio, pero cuando el impacto producido por esta energía contaminante es alta, puede ocasionar desequilibrios a la función y estructura de los ecosistemas tanto naturales como a los subsidiados. Debido a esta circunstancialidad se ha propuesto el que las conclusiones mencionen, desde una perspectiva ecológica, la factibilidad de ampliación masiva en el uso de éstos recursos naturales.

El uso de una tecnología inadecuada, así como una sistemática deficiencia de capitales aplicados en la investigación y construcción de la infraestructura necesaria para usar estos recursos, lo mismo que las acciones relacionadas a un aprovechamiento poco racional, lleva consigo altos riesgos y costos que en muchas ocasiones la sociedad no está dispuesta a sufrir; por lo tanto, no se ha de olvidar que la posibilidad del uso de determinadas tecnologías, se sitúan bajo un marco social, económico, político y cultural en el cual está inmerso nuestro país, así como los demás que conforman la sociedad internacional.

Hechas las anteriores observaciones, se presenta el estudio realizado, no sin antes mencionar que, su contenido no agota la posibilidad de información sobre el objeto de estudio, pensado además - que al leerlo, de él salgan ideas que propicien la reflexión sobre el tema desarrollado.

CAPITULO I EL FLUJO DE ENERGIA EN EL UNIVERSO

Introducción.

La idea de conformar un trabajo que haga referencia, a la posibilidad de apreciar el aprovechamiento de las fuentes de energía no convencional como una alternativa energética importante para ampliar nuestras perspectivas de ampliar el potencial de las reservas energéticas, plantea una serie de problemas que es necesario resolver.

La situación que demarca el hecho de que algunos especialistas -- llamen a este conjunto de recursos como energías terrestres, hace necesaria conformar la vinculación entre el flujo de energía en el Universo y la parte de esos recursos que son susceptibles de aprovecharse a expensas de nuestro planeta, hace que metodológicamente se proceda de lo general a lo particular, de lo mediato a lo inmediato, se vayan definiendo cada una de las categorías que entran en juego, y se considerén además las posibilidades de uso, dado el contexto actual de desarrollo tecnológico, social y económico de la sociedad en su conjunto. Por ello, es importante que se establezca un ejercicio de relación, con objeto de ubicar al lector con los tipos de recursos que van surgiendo y que conozca la fenomenología de su origen.

Por lo tanto, se ha convenido como importante el mencionar el pro

ceso de transformación general de la energía captada y que parte de la misma es aprovechada para realizar un trabajo o satisfacer una necesidad específica. Además de conocer de manera concreta -- cual es el potencial del recurso que es susceptible de aprovechamiento; es conveniente, por lo tanto, definir desde este primer capítulo las escalas de medición que van a estar presentes a lo largo del trabajo con objeto de hacerlo más sencillo y directo.

Ahora bien, el aprovechamiento del recurso no ve de fuera de un contexto social; por el contrario, los recursos energéticos pueden considerarse como el motor que permite la transformación social, así como su movilidad y por ello a lo largo del desarrollo de la sociedad son diferentes los modelos que el hombre ha construido y que le han permitido el utilizarlos dentro de un determinado momento histórico. Por ello y con el afán de contextualizar el uso y aprovechamiento de estos recursos se da al trabajo esta connotación social.

1.1 El Flujo de Energía en el Universo.

El Universo contiene energía bajo diversas formas: gravitacional, calorífica, cinética, luminosa, nuclear y química; la forma de -- energía predominante en él es la gravitatoria. La materia esparci da en el espacio interestelar posee energía gravitatoria que pue- de liberarse a otras formas de energía menores como la luz y el - calor cuando la masa sufre un proceso de contracción; por lo tan- to, puede considerarse que para cualquier masa suficientemente -- grande la forma de energía predominante es la gravitacional.

En este momento, es conveniente mencionar que las leyes de termo- dinámica establecen que toda cantidad de energía lleva asociada - una cualidad o característica llamada entropía, la cual se define como la degradación de la energía, de un estado concentrado a uno más diluído, en donde el resultado final es la formación de calor residual. Por lo tanto, se menciona que la entropía, mide el grado- de desorden asociado al uso de la energía, esto es aplicable tan- to a procesos físicos como a los biológicos y humanos.

Por lo anteriormente expuesto podemos mencionar que la energía de una forma superior puede degradarse a formas inferiores, pero el- proceso no se puede invertir; esto es, las formas inferiores y di fusas de energía no pueden reconvertirse a formas superiores.

La energía gravitacional existente en el Universo no lleva consi-

go entropía, y es la primera en el orden de importancia; le siguen en orden decreciente, la energía de movimiento orbital, las reacciones nucleares, la energía del calor interno de las estrellas, la luz del sol, las reacciones químicas, el calor producido por la reflexión de la energía del sol sobre la tierra y por último las microondas de radiación cósmica⁽¹⁾.

En el Universo en conjunto, el capítulo principal en el flujo de energía es la contracción gravitatoria de la materia cósmica, convirtiéndose la energía gravitatoria liberada en la construcción de energía cinética, luminosa y calorífica. Toda la materia contenida en el Cosmos evoluciona mediante esta contracción de objetos de todos tamaños, desde los inmensos grupos de galaxias, hasta el polvo cósmico.

La materia y la energía existente en el Universo, a diferencia de lo que se creía todavía hasta el siglo pasado, no contiene fenómenos estáticos; por el contrario conforma procesos de transformación energética bastante dinámicos, dialécticos; en donde la relación entre la materia y la energía contenida en el Universo ha cambiado de explicación, como lo ha expuesto el físico A. Einstein en su teoría de la relatividad, proponiendo una visión del Universo más dinámica, en donde la materia y la energía antes disociados, aparecen ahora como parte de un mismo proceso. Estas --

(1) Freeman, J. D., Energy and Power. Energy in the Universe, ed. Freeman and Co. San Fco. USA., 1971, pp. 19-20.

circunstancias han provocado el que algunos conceptos como la inmutabilidad y estabilidad del Universo puedan explicarse bajo -- otros principios.

Freeman⁽²⁾ comenta que en el Universo y como lo conocemos no sobrevive gracias a una inestabilidad inherente, sino a una sucesión, al parecer accidental de "retardos", pudiendo definir retardo como obstáculo que normalmente surge de alguna característica cuantitativa del universo y que retrasa el proceso normal de degradación de la energía; por lo tanto puede decirse que los retardos cosmológicos son absolutamente necesarios para la existencia del Cosmos.

El primer y más fundamental retardo implícito en la arquitectura del Universo es el referido a su tamaño.

Una persona que lo observe a simple vista, tendrá la impresión -- que es extravagantemente grande. Este tamaño constituye nuestra -- principal defensa frente a una amplia variedad de catástrofes.

El segundo retardo de la lista es el producido por el giro. Un -- objeto extenso no puede llegar al colapso, las partes exteriores del objeto se sitúan en órbitas estacionarias, dando vueltas en --

(2)

Freeman J. D., Op. cit. p. 21.

torno a las partes interiores. La totalidad de nuestra galaxia es ta preservada por ese retardo y la tierra se mantiene por él de un colapso hacia el sol. Sin el retardo de giro no se hubiera podido formar sistema planetario alguno cuando se condensó el Sol a partir del gas interestelar.

A primera vista el Sistema Solar parece ser una perfecta máquina de movimiento perpétuo, pero en realidad su longevidad depende de la acción combinada del retardo de giro y de tamaño.

El tercer retardo es el termonuclear, consecuencia del hecho de que el hidrógeno "arde" hasta formar Helio cuando se le calienta y comprime. La combustión termonuclear, definida como una reacción de fusión entre los núcleos de hidrógeno, libera energía, la cual se opone a cualquier otra compresión, podrá llegar al colapso gravitatorio más allá de un cierto punto hasta que se haya quemado todo el hidrógeno. Por ejemplo el sol se ha mantenido ardiendo gracias al retardo termonuclear durante 4 500 millones de años, y tendrán que pasar otros 5 000 millones de años antes de que se quemé todo su hidrógeno y pueda concluir su contratación gravitatoria. En último término, la producción de energía nuclear en el Universo solo constituye una pequeña fracción de la producción de energía gravitatoria. Pero la energía nuclear actúa como un regulador delicadamente ajustado, retrasando las fases violentas del colapso durante miles de millones de años.

El descubrimiento de que el Universo estaba compuesto originariamente de hidrógeno bastante puro, implica que el retraso termonuclear es un fenómeno universal. Toda masa suficientemente grande para tener un colapso gravitatorio tiene que pasar inexorablemente por una prolongada fase de combustión del hidrógeno. Los únicos objetos a los que no es aplicable esta regla son las masas de tamaño planetario o menores, en los cuales la contracción gravitatoria se ve detenida por la incompresibilidad mecánica del material antes de que alcance el punto desencadenador de las reacciones -- termonucleares.

La diferencia crucial entre el sol y una bomba termonuclear es -- que el Sol contiene hidrógeno ordinario con solo rastros de los isótopos pesados del Hidrógeno (Deuterio y Tritio), mientras que la bomba está compuesta principalmente de hidrógeno pesado.

El hidrógeno pesado puede arder en forma explosiva mediante fuertes interacciones nucleares, pero el hidrógeno ordinario sólo puede reaccionar consigo mismo, mediante el proceso de interacciones débiles. (En este proceso de interacciones fuertes o débiles, se funden los núcleos de Hidrógeno (+) protones para formar un Deuterón (un protón y un neutrón) más un positrón y un neutrino). La reacción protón-protón tiene lugar unas 10^{18} veces más despacio -- que una reacción nuclear fuerte, a la misma densidad y temperatura.

Es éste retardo de interacción débil lo que hace al hidrógeno po-

co útil como fuente terrestre de energía. Sin embargo, este retardo es esencial para nuestra existencia, al menos por tres razones: Primera sin éste retardo no tendríamos un Sol estable y con él -- una vida lo suficientemente larga; segundo, sin él, el océano sería un excelente explosivo termonuclear y constituiría una tentación permanente para la construcción de bombas nucleares; la tercera y la más importante, sin el retardo de interacción débil es poco probable que una cantidad apreciable de hidrógeno hubiese sobrevivido a la fase inicial de la evolución del Universo.

Hay otra importante clase de retardos y es el referido al de -- transporte u opacidad, debido a que el transporte de energía por conducción o radiación, desde el interior caliente de la tierra o del Sol a las superficies más frías tarda miles de millones de años en completarse. Gracias al retardo de transporte, la tierra permanece fluida y geológicamente activa, produciendo fenómenos -- como la deriva continental, los terremotos, el volcanismo y la -- formación de sistemas montañosos. Todos estos procesos se produ-- cen a partir de la energía derivada de la condensación gravitatoria original de la tierra hace cuatro mil millones de años, incrementado por una modesta producción de energía de la radiactividad remanente de los tiempos cosmológicos.

El último es un retardo especial de tensión superficial que ha -- permitido que los núcleos fisionables de Uranio y Torio sobrevi-- van en la corteza de la tierra. Estos núcleos son muy inestables frente a una fisión espontánea. Contienen una carga positiva tan

grande y tanta energía electrostática que están dispuestos a estallar en pedazos a la menor provocación. Sin embargo, para desintegrarse es preciso que su superficie adopte una forma no esférica, y a éste aplastamiento se opone una fuerza extremadamente grande de tensión superficial. Un núcleo se mantiene esférico de la misma manera que la mínima gota de agua de lluvia permanece esférica, pero el núcleo de uranio tiene una tensión unas 10^{18} veces mayor que la gota de agua.

D. Freeman,⁽³⁾ en su ensayo sobre la energía en el universo, considera que estos retardos por sí solos no explican la dinámica que existe en el Cosmos, llegando el momento en que el flujo de energía consigue superar estas barreras, explica que se producen -- transformaciones rápidas y violentas, cuyo origen no ha sido suficientemente explicado.

Fué el físico Victor Hess quien descubrió, en la primera década del presente siglo, que cualquier rincón de nuestra galaxia está saturado de una nube uniforme de partículas con una carga energética elevada, actualmente se les denomina "Rayos Cósmicos", quizá no se sepa con detalle cual es su origen, pero es importante recordar que forman un importante flujo energético en el Universo.

El mencionado autor, comenta que estos rayos cósmicos pudierón ha-

(3) Ibid., p. 22

berse originado durante procesos catastróficos. Paralelamente al descubrimiento de estos se han descubierto nuevos tipos de objetos extraños, cada uno de los cuales es lo suficientemente violento como para ser la causa de los Rayos Cósmicos. Entre estos están: las Super Novas (estrellas gigantes en explosión), las Radio Galaxias (gigantescas nubes de electrones enormemente energéticos que surgen de las galaxias), las Galaxias Seyfert (galaxias de -- brillo intenso y núcleos turbulentos), las fuentes de rayos X, -- los Cuasares y los pulsares (los pulsares, son casi con certeza, -- estrellas de neutrones, animadas por un movimiento de rotación -- muy rápido). Todos estos objetos son poco visibles a causa de que están extremadamente lejos de nosotros. Una vez más, sólo el retardo de tamaño ha diluido los rayos cósmicos, lo suficiente para evitar catástrofes biológicas.

Se ha empezado a comprender la forma en que se originaron las estrellas y los planetas. Parece que las estrellas nacen no una a una, sino en grupos de algunos centenares o millares al mismo -- tiempo. Es posible que exista un ritmo cíclico en la vida de una galaxia. Durante centenas de millones de años, las estrellas y el gas interestelar en un sector concreto de una galaxia permanecen tranquilos, luego aparece algún tipo de onda de choque o desequilibrio gravitatorio que comprime el gas y desencadena la condensación gravitacional. Se superan varios retardos y una gran masa de gas se condensa en nuevas estrellas en una región limitada del Universo. Las estrellas de mayor masa brillan durante unos cuan-

tos millones de años y mueren espectacularmente como Supernovas.- El breve resplandor de los grupos de estrellas de gran masa y vida corta hace visible la onda del choque, desde una distancia de millones de años-luz, en forma de brazo espiral brillante, que se extiende por la galaxia.

Después de quemarse las nuevas estrellas de masa mayor, las estrellas de menor masa continúan consumiéndose, contaminadas parcialmente con plutonio. Estas estrellas más modestas prosiguen su - - tranquila y frágil existencia durante miles de millones de años,- después de que el brazo espiral que las originó pasará por allí.- En un ritmo semejante a este proceso empezó a existir hace aproximadamente cinco mil millones de años, nuestro sistema solar.

Como consecuencia directa de estos retardos se derivan las fuentes de energía que existen en nuestro planeta, como son: La energía gravitacional, la luz solar, los elementos radiactivos y los combustibles químicos y biológicos. Todos estos almacenamientos - de energía existen aquí en virtud a los retardos que han detenido temporalmente los procesos universales de degradación de la energía. El brillo solar se mantiene debido a las reacciones termonúcleares de interacción débil y de opacidad, los materiales nucleares radiactivos han sido preservados por el retraso de tensión superficial, los combustibles bioquímicos como el carbón, el petróleo o el gas natural han evitado su oxidación debido a retardos - químicos y biológicos.

El desarrollo científico y tecnológico de la humanidad, en su conjunto, permite que en la actualidad se disponga de energía relativamente barata proveniente del uso del carbón y el petróleo, recursos energéticos finitos. Paralelamente a este tipo existen -- otras fuentes de energía como: La energía gravitacional, los minerales radioactivos, la energía solar y la proveniente del calor -- interno de la tierra.

Por diversas razones el uso de éstos recursos es limitado. Sin em bargo, en el futuro la humanidad demandará más energía barata y -- que esté exenta de contaminación masiva, quizá se pueda obtener la energía cautiva en los átomos más simples como el Hidrógeno, a través de los procesos de la fusión nuclear.

1.2 Las Energías Terrestres y la Transformación de la Energía.

Los recursos energéticos que existen en nuestro planeta, reflejan en su conjunto la evolución que ha tenido la energía en el universo, estos se pueden relacionar de la siguiente forma.

La energía gravitacional que contiene la Vía Láctea en lo general, y el Sistema Solar en particular, es la que mantiene dentro de sus órbitas al sistema gravitacional formado por el Sol, la Tierra y su satélite natural, la Luna; esta energía produce las mareas de tierra y aguas oceánicas. El hombre ha aprovechado esta fenomenología para producir energía a partir de esta atracción gravimétrica y le ha dado el nombre de energía mareomotriz y a partir de -- las estaciones mareomotrizes produce energía eléctrica como pro-- ducto final del proceso de transformación energética.

La energía que recibimos de nuestra estrella, el Sol; al entrar - en contacto con el planeta pone en funcionamiento los grandes sig temas terrestres; esto es, cede energía luminosa y calorífica que hará moverse a la atmósfera y la hidrósfera, como consecuencia de ello, se efectúan algunos fenómenos geofísicos como los vientos, - ls olas, los movimientos convectivos de las aguas oceánicas, en-- tre otros. En conjunto, la posibilidad de transformación de la -- energía contenida en estos procesos geofísicos es múltiple; por - ejemplo, el hombre al aprovechar el viento, por medios de una má- quina puede transformar la energía cinética contenida en él y - -

transmutarla a energía mecánica y eléctrica. De las olas, existe la posibilidad de transformar la energía cinética contenida en el agua, en energía eléctrica a través de dispositivos mecánicos; de la energía térmica contenida en las aguas oceánicas puede obtenerse energía eléctrica, como consecuencia de la diferencia de temperaturas en un cuerpo de agua, aprovechando un medio químico.

La energía solar usada directamente puede transformar esta energía luminosa y calorífica en otras formas energéticas como la cinética y la eléctrica entre otras. El aprovechamiento de productos biológicos, producto de la acción fotosintética que provoca la energía solar en las plantas verdes, también es susceptible de transformar la energía química, presente en la materia orgánica en otros tipos de energía como la termoquímica o la calorífica.

El fenómeno denominado retardo de interacción débil permitirá, -- aún cuando este proceso se encuentra en un plano experimental, posibilitará la obtención de energía calorífica y eléctrica a través de los procesos de la fusión nuclear.

Otro aspecto que ha permitido la formación de otro recurso energético es el referido al retardo especial por tensión, que ha propiciado que los núcleos fisionables de algunos elementos radiactivos sobrevivieran al proceso de constitución y evolución del planeta; la sociedad hasta el presente siglo ha posibilitado la creación de una alternativa tecnológica, a través de los reactores termo-nucleares, que permite usar estos elementos radiactivos en-

la producción de energía calorífica y eléctrica.

Como consecuencia de la incompleta descomposición bioquímica de algunos compuestos orgánicos, se ha formado el carbón mineral, el petróleo y el gas natural, los cuales han evitado su completa destrucción debido a la oxidación parcial de los compuestos orgánicos que los forman, produciendo con ello un conjunto de energéticos con un lejano antecedente biológico. Por lo tanto la actual producción de materia orgánica que se produce como consecuencia de la interactuación de factores físicos como la energía solar y procesos bioquímicos como la fotosíntesis, son en última instancia, producto de las reacciones termonucleares de interacción débil que se producen en el sol, como consecuencia del retardo termonuclear.

Una consecuencia del denominado retraso de transporte, opacidad es el calor interno de la tierra, remanente actual de los tiempos cosmogónicos de nuestro planeta, éste calor provoca en la capa más externa de nuestro planeta, una particular mecánica. Esta situación provoca una diversidad de procesos geológicos como los movimientos isostáticos, los movimientos epirogénicos de ascenso y descenso de los continentes, la tectogénesis y el volcanismo; y en conjunto como una manifestación final, estos procesos dan origen a fenómenos como las aguas termales, los geysers o las charcas de lodo hirviente, originadas por formaciones rocosas poco profundas que contienen temperaturas elevadas, y que son suscepti

bles de ser aprovechadas para la obtención de energía como la calorífica, la mecánica, la eléctrica, entre otras.

W. Sassim,⁽⁴⁾ propone que un punto intermedio entre la posibilidad potencial del uso de los recursos energéticos terrestres y la posibilidad real de aprovechamiento esta dada en base a la transformación a la que tiene que someterse el recurso para ser utilizado; por ello a continuación se presentan las fases que el autor considera que son las necesarias para que pueda darse esta utilización.

La energía primaria es la energía obtenida directamente de la naturaleza, el agua saliendo de una presa, el carbón recién sacado de la mina, el petróleo, el gas natural, el uranio conformado como mineral, etc., solo en contadas ocasiones puede utilizarse la energía primaria para proporcionar energía final; la que ofrece el consumidor sus servicios energéticos. Una de esas escasas posibilidades de uso directo se da al emplearse el gas natural como energía final.

En su mayor parte la energía primaria es convertida en energía secundaria. Es ésta una forma que puede utilizarse para una gran --

(4) Sassin, Wolfgang., Perspectivas del Cambio. Rev. El Correo de la UNESCO., año XXXIV - Julio de 1981. p.10.

cantidad de aplicaciones. Los principales ejemplos los constituyen la electricidad y la gasolina. Formas menos cómodas de éste mismo de energía secundaria son el carbón vegetal y la leña.

Para propiciar su uso práctico, la energía tiene que adoptar una forma que permita transportarla y distribuirla fácilmente. Se tiende sobre todo a la creación de redes de distribución, concretamente de electricidad, gas y calor. Por razones de almacenamiento y transporte, se tiende también al uso de los combustibles líquidos, sobre todo la gasolina y el gasóleo.

La energía primaria se convierte en energía secundaria de varias maneras. Por ejemplo, las centrales de energía producen electricidad y a veces calor. Las refinerías transforman el petróleo en gasolina, keroseno, gasóleo y nafta. A veces la instalación de conversión es el punto final de un sistema como ocurre con la energía de fusión nuclear (antes de construir la instalación que alojará al reactor nuclear, hay que realizar la conversión química, el enriquecimiento isotópico y la fabricación del combustible); - otras veces, como en el caso de la energía hidroeléctrica o eólica se trata de una simple máquina.

Los últimos pasos son la conversión de la energía secundaria en energía final, la energía de un motor, de una parrilla eléctrica o de un foco son ejemplos de esta, y por último, la conversión de la energía final en energía útil, la que se almacena en un produc

to o se utiliza para un servicio.

Los comentarios anteriores permiten comprender, a "grosso" modo, -- cuales son los recursos energéticos que nos ofrece nuestro planeta; ahora bien, para hacer uso de ellos es conveniente que se conozca la manera en como éstos se miden y de que forma pueden resolver las demandas de energía que requiere el desarrollo del mundo en general y de nuestro país en lo particular.

Los más de 5000 millones de seres humanos que actualmente habitamos el planeta, utilizamos unos 10.0×10^{12} vatios de energía. Esta cifra equivale a 2.2 kilovatios por habitante, a modo de ejemplo se puede comentar que un radiador eléctrico pequeño gasta un kilovatio durante una hora de funcionamiento.

Para comprender el problema de la energía, es importante distinguir entre potencia y energía. La potencia (La unidad de potencia es el Watt (vatio), este se define como el trabajo de un joule en un segundo, un joule es definido como la unidad legal de cantidad de calor equivalente a $\frac{1}{4}$ 185 calorías/gramo), se distingue como el ritmo al que un trabajo se realiza o al que se gasta la energía (energía, del gr. en y ergon, acción), es la capacidad que tiene un cuerpo para producir un trabajo.

El nivel medio de utilización de energía en todo nuestro planeta es de 19,272 kilovatios habitante todo el tiempo; por lo tanto, -

cuando se habla de consumo mundial de energía, las cifras en vatios o en kilovatios tienden a alargarse enormemente, por ello el común denominador de los textos que hacen referencia a cuestiones energéticas emplean el siguiente sistema reductor de cuantificación.

1 Kilovatio (KW) = 1000 ó 1.0^3 vatios

1 Megavatio (MW) = 1000,000 ó 1.6^6 vatios

1 Gigavatio (GW) = 1000,000.000 ó 1.0^9 vatios

1 Terravatio (TW) = 1000 000 000 000 ó 1.0^{12} vatios.

El consumo total de energía en el mundo es actualmente de aproximadamente 10 terravatios (10×10^{12} vatios), considerando dentro de este consumo la totalidad de recursos energéticos con que cuenta en éste momento la humanidad.

Como ya se ha mencionado, el consumo de energía por persona es de 2.2 kilovatios. Sin embargo, esta proporcionalidad no se distribuye de manera homogénea entre las naciones que conforman la sociedad internacional. En Norteamérica y algunos países europeos y asiáticos, al consumo energético es de unos 10 KW por habitante. El resto del mundo; es decir, las tres cuartas partes de la humanidad consume menos de 2 kilovatios, concretamente un promedio de 450 vatios.⁽⁵⁾ Dicho de otro modo, el consumo de energía repro

(5)

Zaric, Zoran., Inventario Mundial de Energía Rev. El Correo - de la UNESCO., Año XXXIV, Julio de 1981 - p. 17.

duce los perfiles del actual sistema económico mundial que clasifica a los países o regiones de un país, en ricos, pobres y miserables.

Por último, y antes de comentar en que consiste los tipos de energía a los que hace referencia al título del trabajo, es conveniente al porque se particulariza sobre un solo tipo de recursos energéticos.

El primer comentario va en el sentido en el que se hace una diferenciación entre los recursos energéticos convencionales (Petróleo, Gas Natural, Carbón Mineral e Hidroelectricidad), Por considerarse que para ellos ya existe una tecnología definida y desarrollada, y que su aporte al potencial energético mundial es muy importante y significativo, considerando además, que la información que se tiene de ellos es abundante.

Los denominados recursos energéticos no convencionales, son aquellas alternativas energéticas con que también cuenta la humanidad con el grado de desarrollo tecnológico actual y otros que habrá de desarrollar en un futuro a corto y mediano plazo, para poder hacer frente al posible agotamiento de los recursos convencionales en relación a un futuro no muy lejano. Además de tomar en cuenta que la posibilidad de obtener información conjunta sobre estos recursos es difícil. Por lo tanto, este trabajo está orientado a dar una visión global de su potencialidad, mesurar la im-

portancia de su uso como un recurso alternativo, además de tomar en cuenta el impacto que su explotación habrá de causar al ambiente natural.

1.3 Uso de los Recursos Energéticos y Paradigmas Tecnológicos.

La historia de la humanidad, en su conjunto, es a la vez una sucesión de culturas que van formándose y elaborándose entre sí; estas mismas culturas conforman patrones o esquemas que crean toda una semántica en relación a términos como la ciencia, la tecnología o la naturaleza. Por ello, al establecer la manera en como reproducir estos patrones culturales tienen obviamente, que crear - las condiciones materiales para reproducirla.

Por lo anteriormente expuesto, es conveniente considerar que al - definir estos patrones culturales y tratar de reproducirlos en el contexto de una sociedad material, hace uso de un determinado tipo de recursos y construye un tipo específico de tecnología para conseguirlo.

Entre un estadio y otro de la humanidad se han conformado paradigmas que definen un determinado prototipo de tecnologías comunes - entre sí y con ello plantean, de manera intrínseca, una relación - entre la sociedad que posibilita su construcción y de la naturaleza a quién define y transforma.

En un primer momento del desarrollo de la sociedad humana, está se rige casi exclusivamente por el uso de la leña, el carbón tanto - vegetal como el mineral donde había abundancia de estos recursos; de hecho, la cultura material de éste momento está determinada --

por éste paradigma; es decir el construir toda una serie de artefactos que promueven el uso del recurso.

La siguiente fase de aprovechamiento de estos recursos cambia en las postrimerias del Renacimiento Europeo, en donde se promueve el empleo de otro tipo de recursos como son; el aprovechar la energía potencial del viento, y de manera inicial la energía solar.

La Revolución Industrial que se efectua en el Continente Europeo alrededor del siglo XVII, conforma entre sus múltiples logros, el transformar el paradigma que hace posible el aprovechamiento de los recursos térmicos contenidos en la madera, la fuerza del viento y la del agua a nivel local. De estos, el más significativo es el agua; más específicamente el vapor de agua que hará funcionar un dispositivo mecánico que transformará la energía calorífica contenida en el vapor de agua en energía cinética; es decir, pone a funcionar en su beneficio las máquinas térmicas que transforman el vapor de agua en energía de movimiento.

La aparición del motor de combustión interna logra superar el avance obtenido por las máquinas térmicas, y el empleo del vapor como energía potencial. La nueva tecnología posibilitará el obtener una mayor autonomía en lo referente al transporte, tanto el individual como colectivo, y así emplear un tipo de energía más concentrada, situación que acelerará los procesos industriales y

modifica el habitat tanto de los espacios urbanos como de los rurales; bajo este paradigma se conforma el estatus Quo prevaleciente todo éste siglo y sobre él se estructurarán los modelos de desarrollo que pondrán en práctica el conjunto de las principales sociedades contemporáneas.

En el presente siglo, se ha realizado otra gran revolución, primero teórica, posteriormente tecnológica, y es la que se refiere al aprovechamiento de otros recursos que la naturaleza proporciona. La situación anterior, además, le plantea una diferente relación con la naturaleza que lo rodea. La teoría de la relatividad, ha sido el sustento teórico que ha permitido el anterior planteamiento, y es la que conforma el nuevo paradigma, bajo la perspectiva del uso de otro tipo de tecnología, en donde esta sea más compleja o sofisticada; pero al mismo tiempo más eficaz.

Algunos argumentos que permiten comprender la conformación del nuevo paradigma, que en éste momento cambia nuestras sociedades contemporáneas están presentes en el ensayo escrito por Ulises Ladislao, (6) "Los nuevos paradigmas tecnológicos nos hacen vislumbrar el reemplazo de la energía fósil por otros tipos de energía. La microelectrónica permite en este momento la comunicación ins--

(6) Ladislao, Ulises.; Petróleo y Geopolítica., Rev. ICYT - Vol. 10, N° 146., Nov. de 1988, p. 26-27.

tántanea sin importar la distancia, la transferencia de fondos y mensajes, para sustituir la necesidad de transporte, rama donde - el petróleo tiene más arraigo. La misma miniaturización ha originado que los equipos necesiten una menor cantidad de energía; por otra parte, las fibras ópticas o la aplicación de celdas fotovoltaicas, reducen los requerimientos de combustible en nuestros - - días. La transformación tecnológica trae vehículos que gastan menos.

Ahora mismo se habla mucho acerca del arribo de nuevos materiales cerámicos superconductores que prometen hacer del transporte y -- del almacenamiento de energía un problema resuelto.

En este sentido cobra importancia la reconversión industrial emprendida por diversos países, incluidos los socialistas, para contar con procesos que impliquen un aprovechamiento máximo de la -- energía .

CAPITULO 2 LA ENERGIA SOLAR USADA DIRECTAMENTE.

Introducción.

Los recursos provenientes de la radiación solar son una fuente de energía que la humanidad ha usado desde tiempos inmemoriales y -- hasta el momento actual, ya sea para calentarse con él directamente o para protegerse de los demás animales. La tecnología como -- parte constitutiva del quehacer científico ha desarrollado a lo -- largo de los últimos siglos una serie de técnicas que hacen posible un aprovechamiento más integro del recurso.

La energía que proviene del Sol, principalmente los tipos radiante, calorífica y eléctrica, ofrecen una amplia gama de posibilidades de aplicación, ésta se puede agrupar en dos grandes rubros: - El primero, hace referencia al uso directo de la energía solar; - La segunda opción, se refiere al aprovechamiento de la biomasa.

Al interior del rubro referente a la energía solar usada directamente, se presenta la información referida a la captación, transformación y uso de las fuentes de energía solar; se propone y comenta la posibilidad de su uso, el diseño y construcción de la -- tecnología que hace posible su apropiación, así como la visualización de su aportación al capital energético mundial.

El segundo aspecto se refiere a la energía procedente de la biomasa

sa, en este punto se resume información relacionada con la posibilidad de empleo del recurso que ofrece la materia orgánica, en específico la vegetal, para ser aprovechada como fuente de energía, en el considerando de visualizar y comprender las implicaciones tecnológicas, sociales y económicas que su uso lleva.

Al interior del capítulo se ha desarrollado la siguiente estructura: En un primer momento se hace referencia a breves antecedentes históricos; a continuación se realizan comentarios generales en relación a las características físicas del recurso, así como el uso que más comúnmente se le da; posteriormente, se comentan los avances logrados en cuanto a la investigación que sobre la tecnología que permite un óptimo aprovechamiento del recurso, tanto en el ámbito internacional, así como al referido al contexto de la República Mexicana.

Una parte importante del capítulo, y que además ya se ha comentado en la introducción, es la referente a las conclusiones del capítulo, los cuales se generan a partir del desarrollo de la información presentada, en ellas se comenta con brevedad la pertinencia de un uso intensivo en cuanto al consumo del recurso en relación a las implicaciones ambientales y sociales que genera su explotación.

2.1 LA ENERGIA SOLAR.

2.1.1 Antecedentes Históricos.

El avance histórico de la humanidad ha sido paralelo a dos procesos que son fáciles de explicar: el primero, nos remonta al hecho de como son producidos los satisfactores que condicionan la vida de los pueblos que han existido sobre la superficie de la tierra, es decir, el modo de producción; el segundo, es la forma cómo es aprovechada la energía a lo largo del desarrollo de las culturas que integran la humanidad, hasta llegar a las complejas sociedades industriales que han surgido en los últimos siglos.

Si bien es cierto que, el hombre desde que tomó conciencia de -- sí, como una especie capaz de transformar su entorno inmediato, -- hizo uso de diversos productos derivados de plantas y animales -- con objeto de aprovecharlos energéticamente, y como consecuencia final de la energía solar usada de manera indirecta con los mismos fines. El primer uso que el hombre le dió al sol, como fuente directa de energía apareció muy tarde, cinco siglos después del -- descubrimiento de la electricidad por Tales de Mileto (siglo VII a.c.); Arquímedes, en el siglo III a.c., incendia la flota romana por medio de unos "vidrios que queman"; este hecho, aparte de marcar el inicio de las fuentes de energía solar directa, destruye -- un mito muy importante de la antigüedad; antes de tratar al sol -- como una deidad inalcanzable e irreconocible, lo estudia y aprovecha con ayuda de los conocimientos científicos existentes en ese-

momento.

Varios siglos adelante se inician a nivel experimental algunos -- usos directos de la energía solar. Durante el siglo XVII, un fran-- cés llamado G. de Caus, intenta dar a la energía solar un uso me-- cánico, aprovechando el efecto calorífico de los rayos solares, - calienta el vapor para accionar un motor de su propia invención - instalado a una bomba de agua, que mueve el agua de una fuente, - el uso de la energía calorífica del sol permite mover uno de sus - complementos más importantes.

Durante el mismo siglo el belga, Van Helmont, realiza estudios -- científicos sobre el crecimiento de las plantas y postula que los elementos constitutivos de los vegetales no provienen sólo del -- suelo, sino que también incluyen elementos nutritivos provenien-- tes del agua, el aire y el sol; descubriendo la función del alma-- cenamiento de energía solar que tienen los vegetales, iniciándose así algunos estudios sobre la biomasa.

Durante el mismo siglo XVII, Buffón y Fressnel, inventarón los -- primeros hornos solares; éstos, construidos como reflectores, con-- hierro pulido, tenían capacidad para fundir cobre, hierro y algu-- nos otros metales, su uso además de Francia, se extendió a Dina-- marca y Persia (hoy Irán).

Al final del mismo siglo, A. Lavoisier, intentando probar la teo--

Al final del mismo siglo, A. Lavoisier, intentando probar la teoría de Flogisto, según la cual, el calor es considerado como una sustancia material. Con ayuda de poderosos lentes que apuntan hacia el sol, concentrando en un foco los rayos solares y fundiendo metales, demostró que no se ganaba ni perdía peso alguno; probando por lo tanto, que no existía la materia mencionada.

Durante el siglo XIX se realizan cambios más profundos en el aprovechamiento de la energía solar. En 1822 el físico alemán T.J. -- Seebeck descubrió el efecto que lleva su nombre, el efecto Seebeck, o "principio de conversión termoeléctrica" y que es el cambio directo de calor solar a electricidad, mediante la unión de dos metales. Este principio ha sido significativo en el desarrollo del aprovechamiento de la energía solar como fuente de electricidad y energía térmica⁽¹⁰⁾.

En 1839 Antonio Becqueret encontró un medio de convertir directamente la luz solar en electricidad. Comprobó que la luz solar causaba, por calentamiento, una débil corriente eléctrica en ciertos materiales, en este caso los electrodos de una solución electrolítica; demostrando la posibilidad de convertir directamente los fotones de la luz en movimiento de electrones; es decir, en electricidad, sin pasar por la etapa de transformación en calor; naciendo así la primera pila fotovoltaica.

(10) Boissonnet, F., La Revancha del Fotón Sobre el Electrón en -- Rev. Ciencia y Desarrollo. Ed. CONACYT., Sept.- Oct. de 1982, Núm. 46, p. 12.

En Francia, A. Mouchot, bajo el respaldo del Gobierno Napoleónico pone en marcha en 1866, un motor con energía procedente del Sol, - el cual accionaba una planta de bombas de agua. Mouchot seguía el trabajo emprendido por De Gauss tres siglos antes. Posteriormente en la exposición mundial de París, presenta una cocina solar bastante eficiente.

En América Latina durante la segunda mitad del siglo XIX, se desarrolló una nueva aplicación técnica de la energía solar. En 1971- el estadounidense C. Wilson construyó una planta de desalinización, en el desierto de Atacama, Chile, con el fin de dotar de -- agua potable a una mina. La instalación fue un éxito ya que produjo 23 litros de agua por día, durante un lapso de 40 años.

Al finalizar el siglo XIX, son dos las tendencias que predominan en el aprovechamiento de la energía solar: la primera, encabezado por Abel Pifre, quien diseña un motor de vapor accionado por un - colector solar parabólico, el cual hace funcionar una prensa de - impresión, concentra los rayos solares y permite alcanzar temperaturas lo suficientemente altas como para lograr la evaporación -- del agua; el segundo, representado por las investigaciones de - - Charles Tellier, quien es el precursor de la transformación del - calor solar en frío; Tellier inició la era del captador sencillo- de energía que no requiere de infraestructura pesada y costosa -- (Véase la ilustración Núm. 1).

Ilustración Núm. 1

Aplicación práctica del aprovechamiento de la energía solar en la capacidad para producir energía mecánica.

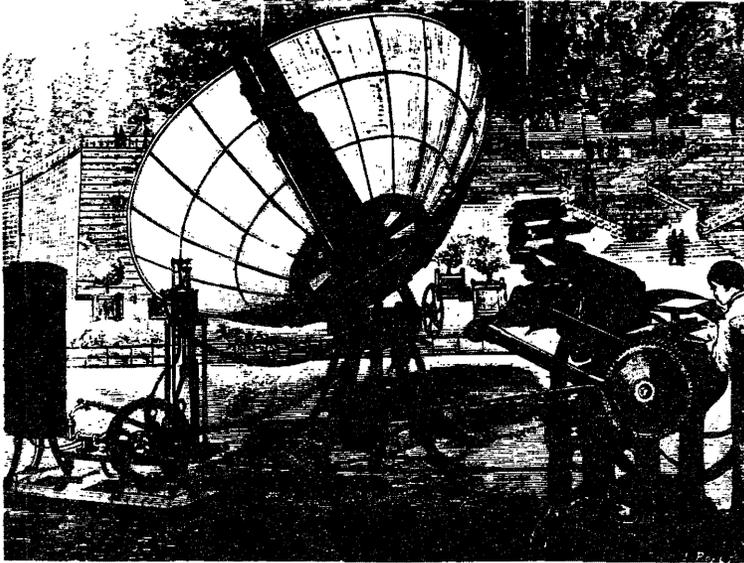


Foto © Museo de Técnicas CNAM, París

El artefacto diseñado por Abel Pifre fue presentado en la Exposición Mundial de París, Francia en 1896, con objeto de mostrar la posibilidad de transformación de la energía solar aplicada a la producción de un trabajo, en este caso la fuerza mecánica.

En el presente siglo el planteamiento de A. Einstein sobre el --- efecto fotoeléctrico de la emisión, hace evolucionar de manera importante la teoría sobre el uso de la energía solar⁽¹¹⁾. Según el efecto mencionado, los fotones de luz, al entrar en contacto con la superficie de un metal apropiado, desalojan los electrones de este. Al instalar un ánodo receptor, se desencadena una circula--ción de electrones y por lo tanto, se genera una corriente eléc--trica.

En 1936, Bruno Lange usa por primera vez la conversión fotovoltai--ca de la energía solar, hace accionar un motor eléctrico, mediante la exposición al sol de un captador hecho de óxido de cobre, -selenio de plata y un ingrediente secreto. La aplicación constituye un éxito; pero ésta y otras investigaciones son detenidas de -manera completa, durante la segunda Guerra Mundial.

Durante la segunda mitad del siglo XX, los avances en aplicación-de las técnicas dedicadas a plantear un mejor aprovechamiento de la energía solar directa han progresado de manera vertiginosa, la investigación y construcción de complejos sistemas de captación -de energía solar han sido importantes. Estos proyectos son producto de una sofisticada investigación científica y tecnológica; así mismo, han ayudado a la popularización de sistemas de captación -más sencillos que han formado corrientes de investigación como la

(11)

Boissonnet, F., Op. Cit., p. 63.

helio-arquitectura, cuyo desarrollo en los países con economías - avanzadas es importante.

Otros procesos de aplicación generados por el uso de la energía - solar directa han sido el diseño de equipos de climatización y refrigeración, así como el bombeo de agua aprovechando dicha energía, rama en la cual los investigadores japoneses han sido pioneros. Sin embargo, el aspecto más importante de investigación en - el aprovechamiento de la energía solar, está dado por el desarrollo de las celdas solares y la transformación de la energía solar en electricidad, estas investigaciones se han acelerado como consecuencia de la carrera espacial y el aprovechamiento en el espacio exterior de la única fuente que pueden usar los satélites - - puestos en órbita: la energía solar.

2.1.2 Las Características Generales de la Energía Solar y Algunos de sus Usos más Importantes.

El flujo de energía que existe en el universo es insuficiente y se encuentra demasiado lejos como para que pueda mantener los ciclos físicos y biológicos en nuestro planeta, de aquí que de manera inicial centremos nuestra atención en la energía que recibimos del sol.

El tema que se trata, hará referencia al aprovechamiento de la energía solar de manera directa, y siendo que ésta es nuestra -- principal fuente de energía a nivel planetario, es por ello necesario diferenciar y definir qué es y en qué consiste la luz solar y la constante solar.

La luzsolar consiste en un conjunto de diversos tipos de rayos y paquetes de energía determinados "Quanta o "Quantum", puede decirse que la energía contenida en un Quantum , es proporcional a la frecuencia de la luz, cuanto más corta sea la longitud de su onda tanto más alta será la frecuencia y mayor el contenido energético.

Para el caso específico de la radiación solar, el flujo que entra a la tierra se expresa en términos de la constante solar; se define esta , como el valor medio del flujo de energía solar que pasa a través de una unidad de superficie perpendicular a la ---

radiación y fuera de la atmósfera terrestre, a una distancia media entre la tierra y el sol. Se le dá un valor aproximado de 1395 kilovátios/ m², con una variante aproximada del 2%. La radiación total interceptada por el plano diametral de la tierra es, por consiguiente de 1.73×10^{17} vatios. (12)

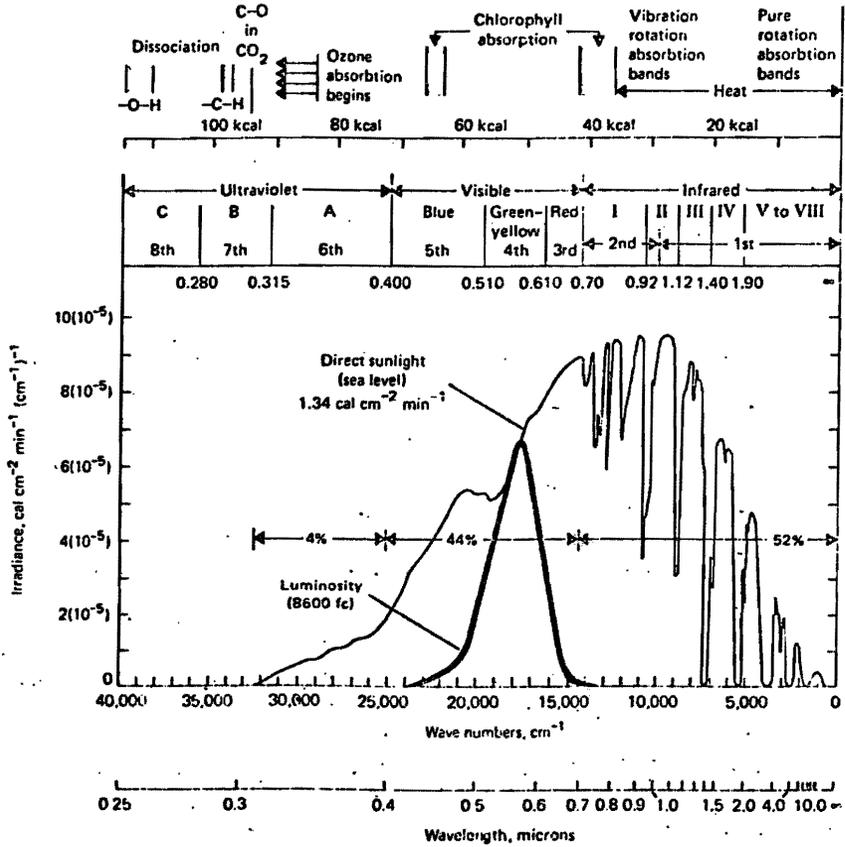
No toda la radiación recibida del sol tiene la misma longitud de onda. El espectro solar comprende la región ultravioleta (de 0.115 a 405 micros) con 9.293 por ciento del total de la energía contenida; la región visible (de 0.460 a 0.70 micras) con 41.476 por ciento de la energía y la región que comprende de los 6.740 a 5 micras y le corresponde, el margen de los rayos infrarojos, en el restante 0.488 quedan incluidas las amplias longitudes de onda de radio. La máxima intensidad de la energía solar ocurre en la región visible del espectro solar. Las características del espectro solar son importantes, ya que serán indicadores que nos permitirán tener criterios de selección en relación a algunos de los materiales y las técnicas empleadas para el aprovechamiento de cada fuente de energía (13) (véase la ilustración 2).

Otra fuente adicional de energía que se integra a nuestros recursos potenciales de energía, es la que se refiere a la energía generada por la acción gravitatoria del sistema tierra-luna-sol, que produce.

(12)

M. King, Hibbert., "Energy and Power", The Energy Resources of the Earth., ed. W. H. Freeman and Co., San Foo. USA. 1971, p. 32.

Ilustración 2



Fuente: L. Smith, Ecology and Field Biology., ed. Harper and Row, USA, 1974., p. 32.

las funciones naturales de las mareas, y las corrientes de marea y aporta un 3×10^{12} vatios.

Otra importante contribución de energía está en la denominada -- energía terrestre, la cual se manifiesta en el calor interno de -- la tierra conducida por medio de las rocas, lo que aporta un 32×10^{12} watts, así como la energía contenida en los movimientos convectivos de la energía contenida en los procesos volcánicos y los depósitos de aguas calientes las cuales aportan un 2×10^{12} wa- - tios.

Las tres últimas fuentes de energía aún cuando no concierne su -- tratamiento en el presente capítulo, servirá de antecedente cuando se traten los temas correspondientes.

La radiación solar se altera considerablemente, por dispersión y absorción, al pasar a través de la atmósfera y el total que incide sobre la superficie horizontal terrestre, rara vez excede de 1 -- Kw/m^2 . La radiación solar puede descomponerse en directa y difusa. La primera de ellas, se refiere al flujo de rayos solares recibidos desde la dirección del disco solar; la radiación difusa es la que llega a la superficie terrestre desde el resto del cielo y es producto de la dispersión que sufre la luz solar a través de la -- atmósfera terrestre.

La proporción de la radiación directa y difusa en la radiación total que recibe el suelo depende de la nubosidad, humedad, presencia de partículas suspendidas en la atmósfera y otras condiciones ambientales, pudiendo llegar a corresponder a la radiación difusa desde un 10% hasta un 80% de la radiación solar que es interceptada en la tierra, esta se distribuye de la siguiente forma:

Aproximadamente un 30 por ciento de la energía solar incidiente ($52,000 \times 10^{12}$ vatios), es reflejada directamente y enviada otra vez al espacio en forma de radiación de onda corta.

Otro 47% es absorbido directamente a calor a la temperatura ambiente superficial ($81,000 \times 10^{12}$ vatios).

Un 23% ($40,000 \times 10^{12}$ vatios), es consumido en la evaporación, precipitación, circulación superficial y subterránea en el ciclo hidrológico. Una pequeña fracción (aproximadamente 370×10^{12} vatios) produce los movimientos convectivos y circulaciones atmosféricas y oceánicas, así como las olas del océano.

Por último una fracción aún más pequeña aproximadamente 4.0×10^{12} vatios) es capturada promedio de la síntesis clorofiliana de las plantas y consumida en la elaboración de materia orgánica (13).

(13)

Alonso Concheiro, Antonio y Rodríguez Viqueira, Luis. Alternativas Energéticas., Ed. F.C.E.-CONACYT., México, 1985, p. 55.

Tomando en cuenta que sólo el 47% de la energía que recibimos de manera constante de sol es la que llega a la superficie del suelo, calentándolo adiabáticamente, es necesario decir que esta proporción que incide en la superficie terrestre, es el elemento o materia prima al cual se intenta transformar en otros tipos de energía (véase el diagrama 2).

La composición de la radiación es importante dado que algunas tecnologías aprovechan sólo la radiación indirecta, mientras que - - otras aprovechan la total. Por otra parte hay que considerar que la radiación solar recibida es diferente para distintas latitudes y la que llega sobre zonas inclinadas difiere de la recibida sobre superficies horizontales.

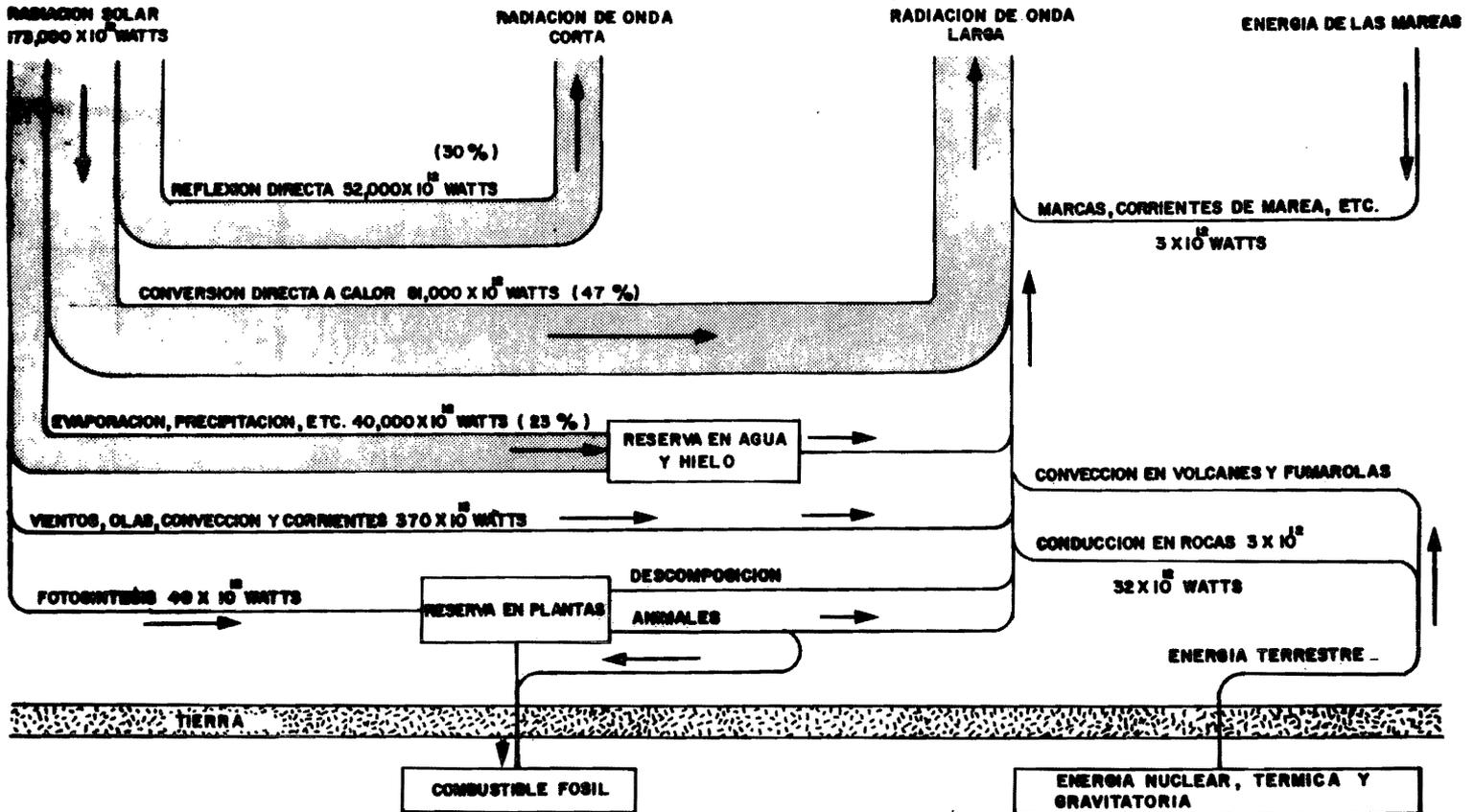
La radiación total promedio a nivel sobre la superficie de la tierra varía entre 2000 y 2500 kw/hora/m² en zonas de alta insola- - ción (zonas áridas) y entre 1000 y 1500 kw/hora/m² en lugares localizados en latitudes altas (véase la fig. 3)⁽¹⁴⁾.

Las variaciones estacionales de la radiación solar total pueden - alcanzar proporciones de 1:2 en zonas de alta insolación y hasta de 1:10 zonas de alta latitud. A pesar de esto, comparada con los combustibles fósiles, la energía solar está mejor distribuida desde el punto de vista geográfico.

(14) A. Concheiro, y L. Viqueira, op. cit., pp. 55 y 56.

Figura 3

EL FLUJO DE ENERGIA EN LA TIERRA



Fuente; Hubbert, M.K. Op. Cit., p. 32-33.

Las tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar son - muchas y muy variadas, sus ventajas y desventajas dependen en buna medida de la aplicación y uso final de cada una. Para los propósitos del presente estudio se considera la clasificación que -- realizan los autores Concheiro y Viqueira⁽¹⁴⁾, consideran cuatro- grandes grupos de tecnologías, según el proceso de inversión de - energía útil que emplea, ellas son:

- a) Procesos termodinámicos
- b) Los sistemas fotovoltaicos
- c) Procesos fotoquímicos
- d) Procesos termiónicos

Las tecnológicas termodinámicas tienen como propósito capturar la energía solar y convertirla en calor útil, el que posteriormente- puede ser transformado en energía mecánica o eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos, convierten directamente la energía solar captada en energía eléctrica, al generarse portadores móviles de carga eléctrica, como resultado de la absorción de la energía- de los fotones que inciden sobre los materiales semiconductores

La conversión fotoquímica se refiere a tecnologías que producen - energía química libre a partir de la radiación solar.

(14)

Ibid., p. 66-67.

Los procesos termiónicos aprovechan la emisión de electrones des- de un estado caliente, convirtiendo así la energía calorífica en eléctrica.

Los dos primeros grupos de tecnologías han sido los más estudia-- dos y en los que se han logrado mayor desarrollo, razón para que sean tratados con más detalle.

Para cada uno de los cuatro procesos de conversión se analizan di- ferentes tecnologías clasificadas de la siguiente manera:

- PROCESOS TERMODINAMICOS

- . Cocción de alimentos
- . Destilación de agua
- . Elevación de agua para efectos de riego
- . Calentamiento de agua para fines domésticos
- . Acondicionamiento de aire y refrigeración
- . La Helio-arquitectura

- PROCESOS FOTOVOLTAICOS

- . Sistemas térmicos pasivos
- . Sistemas térmicos con seguimiento
- . Distribuidos
- . Torre central

- SISTEMAS FOTOQUIMICOS

- . Homounión
- . Heterounión
- . Schottky
- . MIS
- . SIS
- . Electroquímicos

- PROCESOS FOTOQUIMICOS

- SISTEMAS TERMIONICOS

A continuación, se mencionará de una manera breve las características de cada uno de estos cuatro grandes usos de la energía solar-utilizada de forma directa.

A) La transformación de la Energía Solar aplicada al calentamiento de material por procesos termodinámicos.

- . Cocción de alimentos

La Cocción de alimentos, tiene como fundamento principal los trabajos que sobre energía solar ha realizado el laboratorio Nacional de Física de la India,⁽¹⁵⁾ los cuales han versado -

(15) Masson, H. "Sobre el Procedimiento de Captura del Calor Solar". Actas del Coloquio sobre Energía Solar y Eólica, Celebrado en Nueva Delhi, India. p. 23.

sobre la utilización de dicha energía, empleando los principios de reflexión y absorción de la energía solar, con el fin siguiente: Para la cocción de los alimentos se ha construido una cocina solar barata, la cual utiliza como concentrador de energía un recipiente concavo anodizado. Este aparato da, al medio día, el calor equivalente de 350 wátios.

Su uso se ha propagado en las regiones rurales de India y Bangla Desh, sobre todo en aquellos que no tienen recursos maderables que convertir en energía. Este mismo tipo de cocinas fue tratado de implantar en las regiones indígenas de Guatemala en la década de los sesentas, sin que el proyecto de introducción tuviese consecuencias inmediatas.

Destilación del Agua

La utilización de la energía solar en la destilación del agua, es una técnica que ya se usaba en la República Chilena desde el siglo pasado, por supuesto, el sistema no ha cambiado mucho. La mecánica de la destilación es la siguiente:

El agua soluble fluye en recipientes cuya superficie es negra. Cuando brilla el sol y calienta las superficies el calor absorbido evapora el agua, y esta se condensa bajo la cara inferior de un vidrio inclinado que cubre dichas recipientes de allí fluye hacia un canal colector. La producción de agua así tratada es de aproximadamente 3 litros/m², de éste procedimiento puede

decirse que el gasto de capital de una planta de destilación es alto.

. Elevación del Agua para Efectos de Riego.

Para la elevación del agua de riego se proponen entre otras técnicas los experimentos con espejos concavos parabólicos, capaces de hacer funcionar motores accionados con aire caliente. También, se ha construido de manera experimental una pequeña caldera, cuya parte inferior es en forma de cúpula que hace las veces de colector.

. Calentamiento de Agua para Fines Domésticos.

La función más importante del colector de placas, es la de suministrar agua caliente en países con mucho sol. Algunos países que disponen de tecnología avanzada y economía desarrollada, han logrado poner a la disponibilidad comercial este tipo de técnicas.

Los colectores solares de placas o de enfocamiento convierten la energía solar en calor, normalmente como producción de agua caliente. Puede ser que se requiera la energía como fuerza mecánica o eléctrica. Si se habla de instalar colectores solares en el desierto, seguramente será necesario transformar la energía calorífica en eléctrica. Para transportarla a los lugares-

de consumo, puede que no hay secretos en la transformación de la energía solar en electricidad o en fuerza mecánica; sólo -- que el costo es alto.

. Acondicionamiento de Aire y Refrigeración.

Los progresos alcanzados en el diseño de captadores y concen-- tradores de energía solar permiten adoptar esta energía a la - mecánica de los progresos de la refrigeración: Así los japone-- ses que están más avanzados en éste campo, proponen sistemas - de refrigeración y climatización artificial alimentados con -- energía solar. Estas máquinas, que tienen un bajo costo, permi-- ten la autonomía del sistema ya que solo necesitan del sol pa-- ra producir el calor o frío, según requiera. Sin embargo, en - los Estados Unidos y algunos países europeos los últimos descu-- brimientos permiten suponer que se han desarrollado con éxito-- sistemas menos costosos que los de absorción, los cuales los - japoneses ya han comercializado.

. La Helioarquitectura.

La denominación que hace Frank Boissonnet de la "Helioarquitec-- tura", o el uso de la energía solar pasiva aplicada al aprove-- chamiento integral de los recursos proporcionados por el uso - adecuado del espacio y la energía mencionada, ⁽¹⁶⁾ surge de los

(16) Boissonnet, F., Op. cit. p. 65.

proyectos realizados en Francia en las décadas de los cincuentas y sesentas, en la investigación y construcción de sistemas de captación de energía solar en sus plantas de Themis y Odé--lio. Paralelamente se generaron otras innovaciones como "El Mu--ro Trombe", el cual puede calentar una casa aprovechando la --energía solar sin ayuda de ninguna máquina. Con esta innova--ción, se inicia la era de la climatización solar pasiva, que --ha alcanzado gran éxito de los países industrializados. Confor--me a este sistema, las casas se orientan en función de la ra--diación solar y los muros y las superficies de vidrio se ca--lientan de acuerdo con los requerimientos de calor y frío.

Comienzan a aplicarse programas de construcción de vivienda po--pular, en los cuales se intenta la adaptación de la tecnología moderna a la captación de la energía solar: Así como para los--sistemas de almacenamiento que permiten una utilización y recu--peración económica.

Como ya se mencionó los anteriores tipos de recolección pueden ser pasivos, como lo serían las paredes o edificios que absor--ben el calor; o activos, como lo serían un fluido en movimien--to que recogiera esta energía y transfiera el calor para calen--tar un edificio o almacenar este calor para satisfacer su de--manda de agua caliente o durante los días fuertemente nublados.

B) Procesos Fotovoltaicos.

El sistema, accionado por celdas fotovoltaicas o solares consta de sistemas de recolección eficaces de larga duración y fácil mantenimiento; sin embargo la polémica de su construcción esta en relación a la función estética que guarda en relación al paisaje que lo circunda, además de que necesita amplias zonas de captación.

La celda consiste en un cristal cuidadosamente manufacturado normalmente de silicio, o sus compuestos, en el cual se produce una pequeña corriente eléctrica cuando es golpeado por un "Quantum" de luz solar del nivel energético correcto.

Aún cuando nadie discurre la abundancia de la energía solar, esta es difusa y de difícil captación, a no ser que sea en las formas bajas temperaturas. Por lo consiguiente, para cualesquiera de los procesos de conversión necesarios, y destinarla a fines útiles, tienen que operar con una eficacia mecánica -- muy baja, y requieren por lo contrario, de enormes inversiones de capital.

La utilización de las celdas solares, ha adquirido en los últimos años un importante carácter social, ya que muchos gobiernos se han interesado en aplicar éste tipo de energía al desarrollo de comunidades pequeñas y aisladas, especialmente rura-

les, en donde la posibilidad de contar con energía eléctrica - convencional es remota. Las celdas solares han demostrado ser útiles en una larga lista de aplicaciones: Accionamiento de motores eléctricos para el bombeo de agua potable, refrigerado--res de poco consumo destinados a la preservación de medicinas- y alimentos en clínicas rurales, pequeñas centrales telefóni--cas, y en cualquier otra función en donde la disponibilidad de energía eléctrica sea el primer paso para salir del aislamien--to⁽¹⁷⁾.

Entre los países industrializados, Estados Unidos es, en térmi--nos generales, el que posee un mayor desarrollo en sistemas fo--tovoltaicos. Japón le sigue por uno o dos años de distancia en prácticamente todas las tecnologías. Alemania Federal probable--mente es el país líder en la tecnología de lingotes vaciados - de silicio policristalino. Los países europeos han alcanzado - un desarrollo tecnológico menor que el de Estados Unidos y Ja--pón, pero están en posibilidades de adoptar en un corto plazo--los avances tecnológicos provenientes de otros países⁽¹⁸⁾.

Las celdas solares fotovoltaicas son dispositivos que absorben energía de los fotones presentes en la luz que incide sobre --ellas y la convierten en energía eléctrica.

(17) WAES (Workshop on Alternative Energy Estrategias): Energy: -- Global Prospects, 1985 - 2000, ed. Mc. Graw-Hill Book Co., -- New York, 1977., p. 327.

(18) A Concheiro y R. Viqueira Op. Cit., p. 145.

El efecto fotovoltaico ocurre en dispositivos en uno de los cuyos materiales constitutivos se generan portadores móviles de carga -- eléctrica mediante la absorción de la energía de los fotones presentes en la luz o cuando existen una barrera potencial que permite separar a los portadores de carga de la región en que se generaran.

C) Procesos Fotoquímicos.

Los materiales semiconductores, en los que la brecha de energía en tre la banda de valencia y la de conducción es suficientemente pequeña como para que los electrones en estado de energía cercanos a la parte superior de dicha banda alcancen la de conducción. Por lo tanto, se puede afirmar que todas las celdas solares fotovoltaicas son fabricadas a partir de este tipo de semiconductores ⁽¹⁹⁾.

Los semiconductores aprovechan sólo los fotones cuya energía excede la brecha entre las bandas de valencia y conducción. La luz solar presenta un espectro continuo con una concentración alrededor de longitudes de onda de entre 0.5 y 2.1 milimicras. Los semiconductores más comúnmente empleados tienen brechas cercanas a la ban da de conducción y pueden clasificarse como de brecha directa o in directa. Los materiales de brecha directa absorben fotones más fácilmente.

(19)

Ibidem. p. 141

Pueden distinguirse los tipos de celdas solares fotovoltaicas según los materiales empleados en las capas que la forman⁽²⁰⁾.

Homounión.- Un mismo material base con diferentes impurezas para obtener los semiconductores más comunes y sus eficiencias son: Silicio monocristalino (18%), Silicio policristalino (10%), Silicio amorfo (7%).

Heterounión.- El semiconductor y las celdas más comunes y sus eficiencias son: Sulfuro de Cobre (5%) y InP/CdS (14%), CdTe/CdS (telururo de cadmio) (8%).

Schottky.- La unión esta formada por un semiconductor y un metal, tal es el caso de las celdas de A/W_2Se (5%) y Al/Si(13%).

MIS (Metal Insulación Semiconductor).- Unión entre dos semiconductores con una capa aislante de 10 a 16 micras entre ellos. Por ejemplo: ITO/Silicio (12%) y óxido de estaño/Silicio Es O_2/Si (12%).

f) Electroquímicos.- Un semiconductor, Arsenuro de galio monocristalino (Ga As), el semiconductor está inmerso en una solución líquida compuesta de selenio.

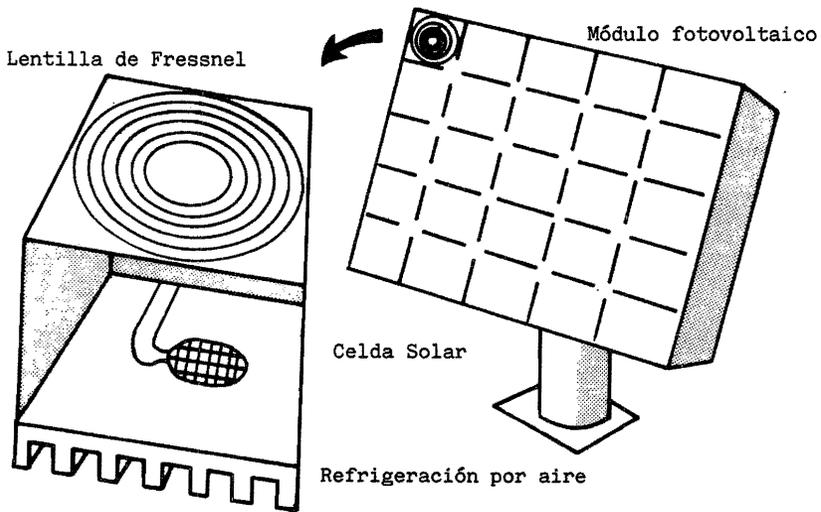
Las celdas solares son modulares, no tiene partes móviles, operan a temperaturas ambiente, poseen una vida útil larga, responden tanto a la radiación directa como a la difusa y prácticamente no requieren de mantenimiento (véase la ilustración 2).

(20) Ibid. p. 142.

Ilustración N° 2.

Ejemplo de Celdas Solares Fotovoltaicas.

La concentración de la energía solar mediante el uso de las lentillas de Fressnel implicaron el empleo de esta tecnología como un paso intermedio entre el empleo de tecnologías más modernas que - dan lugar a la aparición de nuevos semiconductores más eficientes y baratos.



Las celdas solares fotovoltaicas son modulares, no tienen partes-móviles, operan a temperatura ambiente, poseen una vida útil larga, responden tanto a la radiación directa como a la difusa y - - prácticamente no requieren de mantenimiento.

Fuente: Guzmán, Wilfredo. "El Sol y la Energía Fotovoltaica", - - Rev. Ciencia y Desarrollo. Vol. II, N° 28, ed. CONACyT, - México 1979. p. 54.

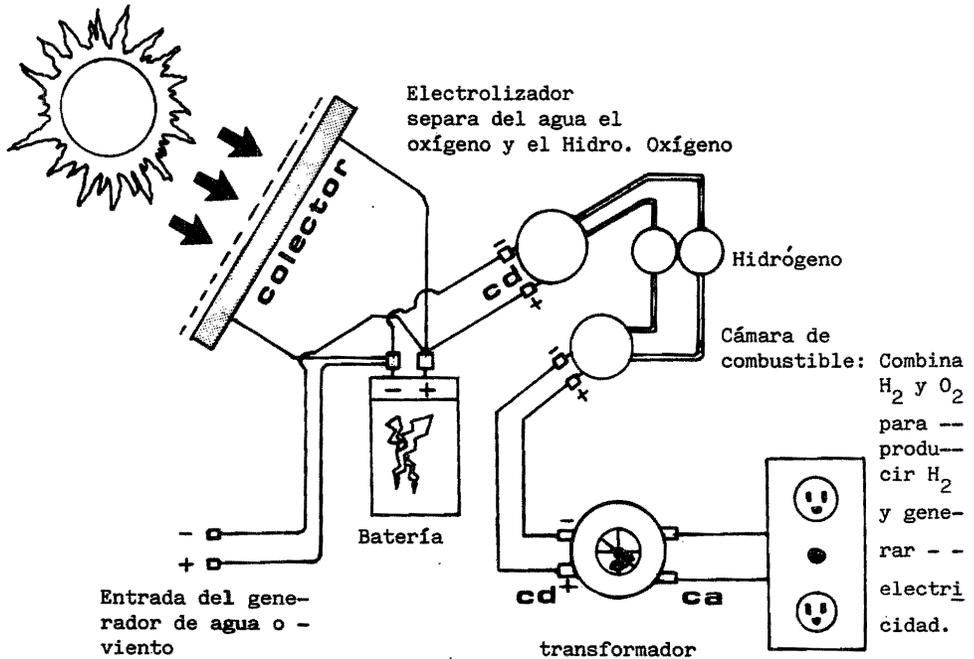
Las celdas solares fotovoltaicas son unidades pequeñas y generan bajas potencias, por lo que su aplicación requiere de la conexión eléctrica de varias de ellas y su encapsulamiento es una armazón que les proporcione soporte y protección, se forma así lo que se conoce como módulo fotovoltaico. La fracción del área expuesta al sol de un módulo cubierto por las celdas solares es de entre 75 y 90%, según la forma y distribución de éstas. Los módulos suelen reunirse en conjuntos, que se denominan arreglos, para adecuar el voltaje y potencia entregados a la demanda.

La energía eléctrica que por sí sola pueden suministrar las celdas, módulos o arreglos fotovoltaicos, sigue en el tiempo la curva de radiación solar incidente sobre ellos. Así, en aquellas aplicaciones que requieren de una alimentación sostenida de energía a cierto nivel de corriente y potencia, deben integrarse a los sistemas fotovoltaicos, sistemas de almacenamiento de energía en particular baterías eléctricas (típicamente de plomo ácido). Requieren además, en general, elementos eléctricos tales como reguladores de voltaje que protegen las baterías y las convierten de corriente directa a corriente alterna (véase el diagrama 3).

Dos conceptos adicionales que merecen atención son las celdas tándem, y las celdas con concentración. En la estructura de las celdas tándem, distintos semiconductores con diferentes brechas entre la banda de valencia y de conducción se arreglan en capas, de tal forma que cada una absorbe sólo fotones que igualan su brecha de energía. A mayor brecha de energía del semiconductor más cercano

Diagrama N° 3

Ejemplo de dispositivo tecnológico aplicado al aprovechamiento de la energía solar directa que emplea celdas, módulos o arreglos fotovoltaicos.



ca: corriente alterna

cd: corriente directa

está su capa de la superficie expuesta a la luz solar. Los semiconductores del arreglo deben seleccionarse, de manera que, cada una absorba el mismo número de fotones del espectro solar y tenga la misma eficiencia de colección.

En los sistemas con concentración, sistemas ópticos (espejos y lentes) dirigen la energía que reciben hacia la superficie a una celda solar de menor área. Dado que al aumentar la intensidad de la luz, el voltaje del circuito abierto aumenta logarítmicamente y la corriente de corto circuito aumenta línealmente, podrá esperarse que la eficiencia de la conversión de las cel-das se aumente logarítmicamente con la relación de concentra--ción (área de captación de los concentradores) del área de la superficie sobre la que se concentra la radiación solar.

Se pueden considerar tres modelos para captar y transformar la energía solar en plantas con capacidad de generación eléctrica de 1000 megavatios⁽²¹⁾.

- a) El primero implica el empleo de placas compuestas de célu--las fotovoltaicas, cuyo rendimiento aproximado es del 10%.
- b) Otra, hace uso del efecto de invernadero, mediante el revestimiento selectivo de tubos que llevan una mezcla fundida - de sodio y potasio y elevada la temperatura a 540°C.
- c) Un tercero consiste en reflejar la radiación solar que incide sobre una zona de una milla cuadrada, un horno y un ebu-

(21) Hubbert, M.K., Op. Cit., pág. 80-81.

llidor solar situado en una torre de 1500 pies de altura. - El calor del horno a una temperatura de 2000°K , será transformado en energía eléctrica mediante una transformación -- magnetohidrodinámica. Se estima que el rendimiento global - en relación a la energía solar captada es de 20% (Veáse la- ilustración 3).

D) PROCESOS TERMIONICOS.

El fenómeno termiónico fué observado pro primera vez por el -- francés C. Dufay a mediados del siglo XVIII, quien notó que el gas cercano a un sólido caliente conducia electricidad.

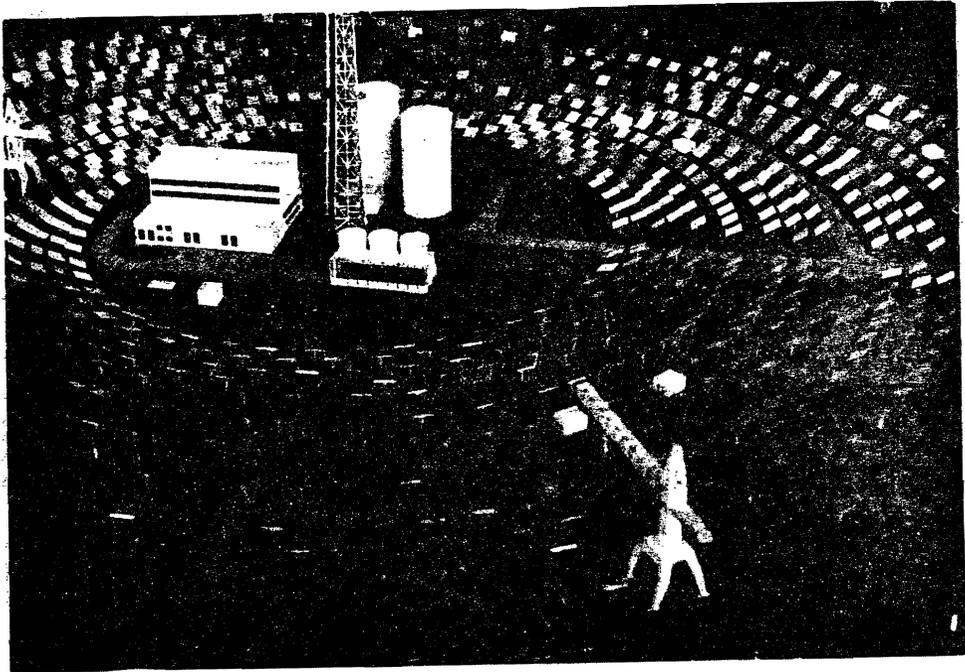
En 1935, el físico francés E. Becquerel anotaba que podría pro- ducirse una cantidad medible de corriente eléctrica en una ma- sa de aire de potencial de unos cuantos voltios, si ésta se ca- lentaba entre electrodos calientes de platino. Los dispositi-- vos para aprovechar el efecto termiónico con propósitos prácti- cos empezaron a explorarse solo a partir de la década de los - cincuentas de éste siglo, como consecuencia de los programas - espaciales. Un conversor termiónico al vacío y uno que emplea- calcio entre cátodo y ánodo fueron desarrollados después de -- 1955.

Los sistemas termiónicos o termo-iónicos, convierten la ener-- gía calorífica directamente en electricidad, aprovechando la -

88

Ilustración N° 3

La maqueta que aquí se presenta corresponde a un sistema de concentración de los rayos solares con objeto de convertir la energía luminosa en energía calorífica.



El objeto de éste complejo tecnológico consiste en concentrar el calor en una torre, en donde el calor hace funcionar un horno que puede alcanzar temperaturas hasta de 2000°K , aquí los procedimientos para transformar la energía son diversos, van desde el aprovechamiento del calor directo, hasta su transformación en fuerza mecánica o energía eléctrica.

Fuente: Rev. La URSS Informa, año XLII., N° 9, Septiembre de 1986
p. 6.

emisión de electrones de una superficie ó método caliente. Los electrones viajan a través del vacío o de un espacio gaseoso - hacia un ciclo frío o colector. Al conectar una carga eléctrica sobre el cátodo y el ánodo, se puede extraer potencia eléctrica útil.

Los conversores termiónicos están constituidos por un emisor - caliente, los electrodos eléctricamente aislados de un colector frío en vacío o sin vapor metálico entre ellos. Los elementos - están encerrados herméticamente. Lógicamente el emisor opera a temperaturas cercanas a los 1700°C. y el colector a temperaturas de unos 700°C. Los emisores pueden ser de tungsteno ó molibdeno siendo éstos últimos los más comunes.

Los sistemas termiónicos no poseen partes móviles, pero pueden determinarse por diversos motivos; por ejemplo, la presión de vapor del material produce evaporación o chispazos y los materiales de los electrodos están sujetos a fallas y rupturas bajo ciclos térmicos y corrosión por esfuerzos. Usualmente requieren acondicionadores de potencia para convertir la corriente directa en corriente alterna⁽²²⁾.

La energía solar ha sido propuesta como fuente de calor para los conversores termiónicos, principalmente para aplicaciones -

(22) A. Concheiro, y R. Viqueira Op. Cit. p. 158-159.

espaciales de hasta 10 kw. de generación de energía.

Los autores,⁽²³⁾ no conocen ningún proyecto o grupo de investigación en el país en el dedicado a los sistemas termiónicos. - Dado el poco prometedor panorama de estos sistemas difícilmente podrá justificarse la conformación de una investigación.

(23) Ibidem. p. 159.

2.1.3 Uso e Investigación de la Energía Solar en la República Mexicana.

Las aplicaciones de la energía solar directa en la República Mexicana no ha seguido un procedimiento homogéneo para los tipos de usos que se han presentado en el desglose del apartado anterior; por ello, en el presente apartado se intenta globalizar el desarrollo de la misma bajo dos aspectos: En el primero, se toma en cuenta lo relacionado con el inciso "A" que se refiere a la transformación de la energía solar aplicada al calentamiento de algún tipo de material, el que para efectos de aglutinación, consideraremos en dos procesos: el activo y el pasivo; para el siguiente inciso, el "B", referido a la transformación directa de la energía solar en electricidad se tomará en cuenta solo el proceso de conversión fotovoltaica.

Los procesos activos de captación y transformación de la energía solar engloban los siguientes usos: La cocción de alimentos, la destilación de aguas salubres, el calentamiento de agua para fines domésticos y la elevación de agua para efectos de riego u otro uso; por ello, para conocer su uso y desarrollo dentro del contexto nacional los relacionaremos con tecnología de los sistemas térmicos estacionarios, la cual engloba las siguientes técnicas: los colectores planos, los colectores tubulares de baja presión y los estanques solares. Dentro de los procesos pasivos tomaremos en cuenta solo las técnicas ambientales, desarrolladas por-

la helioarquitectura en toda su amplia gama de variaciones técnicas.

Los colectores solares planos han sido los que han recibido mayor atención en México. Diversos centros de investigación y desarrollo han realizado estudios sobre estos dispositivos desde hace -- una década, tanto a nivel teórico como experimental. Los colectores solares planos se fabrican en el país desde hace más de treinta años, aunque los niveles de producción han sido siempre muy pequeños. Actualmente existen varios fabricantes, tanto en la Ciudad de México como en otras ciudades importantes de la República (24).

Los más importantes son:

En el Distrito Federal

Calentadores Sol-A-Ris, S.A.

Energía Solar y del Viento, S.A.

Enersol, S. A.

Henry S. Dabdoud, S.A.

Insolar, S. A.

Instalaciones técnicas especializadas, S. A.

Industrias de Energía Solar, S. A.

Módulo Solar, S. A.

Solarmex, S. A.

Rec-Sol, S. A.

(24) Ibid. pp. 93-96.

En Guadalajara

Calentadores del Sol América.

Calentadores del Sol Azteca.

Calentadores Solares.

División Calentadores del Sol.

Industrias Orozco Carriarte, S. A.

Promotora Metálica, S. A.

Promotora de Calentadores Solares,

En Cuernavaca

Módulo Solar, S. A.

En Sinaloa

Calentadores Solares

Implementos Ochoa, S.A.

La producción neta o total nacional posiblemente no alcanza los - 2000 m²/año, y es muy probable que el área total de colectores solares planos actualmente instalados en el país no llegue a 10,000 m². Si los colectores planos y el gas propano fuesen tratados de la misma manera dentro de la política energética nacional, existirían mecanismos para hacer económicamente viables los calentadores solares en el país⁽²⁵⁾.

Actualmente solo el Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM se interesa por estudiar colectores tubulares o caloríduos, habiéndose incluido el tema a través de un convenio de colaboración firmado recientemente entre Estados Unidos y su Departa-

(25) Ibid., pp. 111-112.

mento de Energía y México, a través de diversos institutos de la UNAM (1982).

Puede decirse que no existe actividad comercial en el país relacionada con los caloriductos o colectores solares tubulares, a pesar de que compañías transnacionales como la Phillips, Philco o Sanyo, (quienes tienen proyectos y comercialización de diverso tipo de tecnología), poseen empresas establecidas en México y las compañías Corning y Owens-Illinois, tienen relaciones comerciales con empresas del país e intereses en el mercado mundial⁽²⁶⁾.

En relación a los estanques solares, la empresa Sosa-Textcoco emplea un sistema de evaporación a cielo descubierto en un canal en espiral (caracol). Por otra parte la empresa descentralizada Fertimex, actualmente tiene en construcción una planta para la preparación de salmueras provenientes del flujo de extracción del campo geotérmico de Cerro Prieto, B. C.. Esta planta construye varias lagunas de evaporación. El Instituto de Ingeniería de la UNAM y el Instituto de Investigaciones Eléctricas de la misma institución han intervenido en éste proyecto durante las etapas de estudios preliminares y diseño⁽²⁷⁾.

Estos dos sistemas son los más cercanos a la tecnología de estanques solares con que se cuenta en México, la investigación sobre

(26) Ibid., pp. 132-136.

(27) Ibid., pp. 136-138.

este tema con propósito energético es actualmente inexistente.

Los sistemas térmicos de seguimiento comúnmente se pueden agrupar bajo dos modalidades técnicas: Los que tienen una estructura estacionaria y los que tienen dispositivos mecánicos con seguimiento solar. Por lo general persiguen el objetivo de transformar la energía solar en energía mecánica o eléctrica por medio de motores diseñados para éste fin. Su uso se aplica a la cocción de alimentos, aprovechando con ello las cocinas solares, la elevación de agua para efectos de riego, así como el acondicionamiento de aire y aplicación a los sistemas de refrigeración, entre otros usos. La diversidad de diseños con los que opera es amplia, enumerarlos sobrepasa el alcance del presente trabajo, por lo cual no se mencionarán.

Este es un procedimiento activo en cuanto a la utilización de la energía solar, por lo tanto, el desarrollo de estos sistemas térmicos con seguimiento en la República Mexicana son los siguientes:

"El Instituto de Ingeniería de la UNAM es la institución nacional dedicada al estudio de sistemas solares de conversión termodinámica con concentradores de enfoque que siguen el movimiento del sol. Sus actividades en el área se iniciaron en 1975 y cuenta ya con amplia experiencia. Ha diseñado y construido una planta experimental con colectores de tipo común parabólico (con - -

aprox. 500 m² de área de captación) con una capacidad nominal -- instalada de 10 a 15 kw. (kilowatts)"⁽²⁸⁾.

"También en el Instituto de Ingeniería de la UNAM se han desarrollado prototipos de colectores de enfoque puntual: Los primeros de muy pequeño diámetro (1-1.5 m.) y recientemente uno de 2m. -- Los estudios en esta área están aún en etapas iniciales.

Adicionalmente, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (11E) ha formulado y promovido una propuesta para el desarrollo de una pequeña planta experimental de torre central e instalarse en algún lugar cercano a Cuernavaca, Mor., en colaboración con otros centros de investigación. Dicha planta permitiría llevar a cabo la investigación experimental que hasta la fecha no se ha realizado en el país ⁽²⁹⁾.

Los sistemas de aprovechamiento solar de carácter pasivo, se puede decir, que se han desarrollado paralelamente a lo largo de la historia de la humanidad; sin embargo, es durante éste siglo -- cuando se inicia la sistematización de su estudio; este proceso de avance ha recogido de manera directa el apoyo de la arquitectura, disciplina de la cual ha recibido uno de sus principales impulsos.

(28) Ibid., p. 138.

(29) Ibid., p. 138.

Estos sistemas no se limitan a las aportaciones como el famoso-- "Muro Trombe", sino que, en conjunto también han participado -- otras como: Las paredes de ganancia directa, espacio arreglado, de malla convectiva y otros, los cuales le han dado una amplia -- perspectiva de desarrollo de esta rama de aplicaciones de la -- energía solar pasiva, siendo esta, quizá, una de las más difundi-- das y dinámicas.

En el contexto de la República Mexicana, las instituciones que -- realizan investigaciones con éstos sistemas son los siguientes:

- Instituto de Investigación en Materiales, UNAM: Construcción -- de 9 prototipos de casas con arquitectura solar pasiva: Esta-- blo pasivo; pruebas y caracterización de materiales locales pa-- ra su uso en sistemas solares térmicos pasivos.
- Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Arqui-- tectura y Arte, Unidad Profesional Cuatepec: Helioarquitectura.
- Instituto Tecnológico Regional de Oaxaca: Estudios explorato-- rios en heliodiseño.
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey: -- Proyecto para el diseño y construcción de una casa solar con -- sistemas de climatización activos y pasivos.

- INFONAVIT: 3 programas piloto de climatización solar pasiva en casa habitación (en colaboración con el Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM, SEDUE.

- DIGAASES: Proyectos SONNTLAN Las Barrancas: Sistema Integral - autosuficiente (incluido helio-diseño). Proyecto SONNTLAN-Mexicali: 6 casa que incluyen helio-diseño.

- Grupo del Sol, S.C., Casa Solar en Mezontepec, Ajusco, D.F. -- (sistema activos y pasivos); tres casas distintas.

- Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco: Sistemas Integrados autosuficientes (que incluye helio-diseño).

- Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. De Humidificación del Aire para Climatizar Viviendas.

- Universidad Autónoma de San Luis (Unidad de Habitat): Casa autosuficiente energéticamente (incluye helio-diseño).

- Universidad de Guadalajara: Helioarquitectura.

- Fundación de Ecodesarrollo Xochicalli, S.C.: Casa ecológica autosuficiente (incluye helio-diseño).

- Proyecto Quetzalcoatl (DIGAASES): Desarrollo Solar Integral --

(incluye helioarquitectura); proyecto para un conjunto de 75 - casas habitación.

- Universidad Iberoamericana: Helioarquitectura.

- Universidad La Salle: Helioarquitectura.

Se estima que en México actualmente se dedican al estudio de los sistemas térmicos pasivos, el equivalente a unos 10-15 investigadores de tiempo completo y que durante el período 1980-1982 se - destinaron a actividades de investigación, desarrollo y demostración en este campo, unos 50 millones de pesos. Esta es probablemente una de las áreas de mayor aprovechamiento de la energía solar a la que actualmente en México se desarrollan.

Existen tres instituciones de Investigación y Desarrollo interesadas en la conversión fotovoltaica de la energía solar:

- a) El Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM, cuyo interés prioritario es el desarrollo de celdas de silicio - - amorfo y sulfuro de cadmio a nivel laboratorio, y en aplica-- ciones a sistemas fotovoltaicos.
- b) El Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, a través del Departamento de Ingeniería Eléctrica, que cuenta - con una planta de pequeña capacidad para la producción de cel

00

das de silicio monocristalino, investiga las de silicio policristalino y arsenuro de galio, y se interesa además por aplicaciones de dispositivos fotovoltaicos, en particular sistemas autónomos para servicio social y profesional, y el Departamento de Física, que investiga celdas electrólito-semiconductoras y de Teluro de Cadmio.

- c) El Instituto de Investigaciones Eléctricas del IPN, se interesa por el análisis de la aplicación de sistemas fotovoltaicos para generación de potencia.

Por ello se considera que en el contexto latinoamericano, México es, junto con Brasil, además de la India uno de los países en desarrollo más avanzados en la tecnología fotovoltaica.

Existen además algunas instalaciones demostrativas de la Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar (DIGAASES) de la SEDUE que emplean sistemas fotovoltaicos. La tecnología de estos sistemas es de procedencia extranjera, algunas otras dependencias también han hecho uso de módulos fotovoltaicos, particularmente en telecomunicaciones y señalamientos.

Por otra parte, como ya se señaló antes, tres compañías extranjeras inician actividades de ensamblado de módulos fotovoltaicos en el país. Actualmente, al menos 9 compañías europeas y norteamericanas ofrecen sistemas fotovoltaicos en el mercado mexicano.

2.2 LA ENERGIA PROCEDENTE DE LA BIOMASA.

2.2.1 Antecedentes Históricos.

El uso y conversión de la biomasa en algún tipo de energía, sea - esta calorífica, química o eléctrica, se divide para su estudio - en el presente trabajo en dos aspectos: El primero, hace referen- cia a las técnicas de la Conversión Biológica, las cuales hacen - uso de la transformación bioquímica de la materia orgánica para - obtener energía; la segunda, relacionada con la Conversión Termoquí- mica, en la cual, se aprovecha algún factor como calor adicional, presión o descomposición parcial sobre la biomasa para obtener -- energía primaria.

Las investigaciones de la biomasa que se han realizado sobre su - conversión biológica y termoquímica tomándolas como resultado del desarrollo algunas veces modesto acelerado han continuado nues- - tros días. Se puede afirmar que aún cuando la fermentación alcohó- lica se conoce desde la antigüedad es en el siglo pasado cuando - se procesa con objeto de producir combustibles para emplearlos en la iluminación citadina⁽³⁰⁾.

En el presente siglo las investigaciones, sobre esta fuente de -- energía declinan como consecuencia de la mayor disponibilidad de petróleo. La combustión directa sigue empleándose tal cual. Sin -

(30) Ibid., p. 188.

embargo, después de la década de los sesentas se ha diseñado y empleado en algunas instalaciones industriales para generar calor - y vapor a partir de éste tipo de combustión.

Los procesos de conversión termoquímica como la licuefacción, la gasificación, y la pirólisis tienen sus antecedentes directos en los gasificadores de carbón, que tuvieron un desarrollo continuo desde la primera mitad del siglo XIX, hasta alrededor de 1930, -- cuando el petróleo se estableció como el combustible deseable -- por excelencia. Sin embargo, el incremento en el precio del com-- bustible en la década de los setentas, ocasiona que las investigaciones sobre gasificación de productos orgánicos nuevamente renazca.

Como se puede observar en la anterior retrospectiva, el uso de la bioenergética ha tenido un proceso de desarrollo continuo, el - - cual, se ha llevado a cabo de una manera paralela con el uso de - otras fuentes de energía (carbón, petróleo, hidroelectricidad y - otros), y ha estado subordinado a la abundancia o escasez de - -- ellos, razón por la cual no puede decirse que sean nuevas; sin em embargo, con el apoyo de los avances tecnológicos y su aplicación - en el diseño, uso y economía de energía los hace muy innovado-- res.

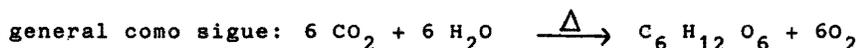
2.2.2 Tecnologías para el aprovechamiento de la energía derivada de la Biomasa y uso más común.

Biomasa es un término genérico referido a cualquier producto biológico que puede convertirse en energía útil, incluye madera, productos vegetales, animales y todo tipo de residuos orgánicos. Se estima que actualmente del 6 al 15 por ciento del consumo total de energía provienen de la biomasa.

Aún cuando no se cuenta con datos precisos, se estima que en la República Mexicana unas 20 millones de personas consumen alrededor de 19 millones de tons. de leña al año, lo que equivaldrá aproximadamente a un 6 por ciento del consumo total de energía primaria comercial del país⁽³¹⁾.

La producción de la biomasa es de origen vegetal y ocurre con la ayuda de la energía solar a través del proceso de la fotosíntesis en la que el agua y el CO_2 de la atmósfera son transformados en materia orgánica y oxígeno. Desde el punto de vista bioquímico, el proceso fotosintético comprende el almacenamiento de una parte de la energía de la luz solar cual potencial o energía ligada de los alimentos. Puesto que esto implica una reacción de oxidación y reducción, y además considerando que en la naturaleza hay dos clases de fotosíntesis puede escribirse para esta una ecuación --

(31) Girón, Helvia., "Fuentes de Energía No Convencional"., Rev. - ICyT, ed. CONACyT. Vol. 10, N° 146, México, D.F., Nov. de - - 1988., p. 34.



Esta ecuación, aunque tiene carácter general limitado desde el punto de vista químico (ya que indica el principio y el fin de una serie compleja de reacciones en los que toman parte muchas otras moléculas), resulta útil porque muestra la proporción de gases que intervienen durante la síntesis de la glucosa (32).

La eficiencia de conversión de energía solar en energía almacenada bajo la forma de materia orgánica es muy baja, se estima que en las plantas su valor está entre el 0.2 y 0.3 por ciento, aunque en algunas especies forestales en explotación comercial alcanza eficiencias de conversión de hasta 1 por ciento. La eficiencia fotosintética es importante porque determina la producción de biomasa por unidad de superficie y por tanto, el máximo potencial energético del recurso.

Sólo la parte visible del espectro solar, aproximadamente 45% del total es aprovechable en la fotosíntesis, un 20% de esta energía se pierde por reflexión y absorción inactiva, lo que deja un 36% del total de la radiación solar incidente como energía disponible para las reacciones primarias fotosintéticas (33).

32. Colinvaux, Paul., Introducción a la ecología ed. Limusa., México, 1980, P.176.

33. A. Concheiro y R. Viqueira., Op. Cit., p. 185.

Por lo tanto, puede mencionarse que, menos de un 1 por ciento de la radiación solar recibida por nuestro planeta (40×10^{12} watts) es aprovechable en los procesos fotosintéticos y es esta energía-transformada la que queda depositada como recurso susceptible de incorporarse al potencial bioenergético (véase la ilustración 3 - de la pág.51).

Entre los factores que han incrementado el interés por los usos energéticos de la biomasa destacan:

- La existencia de tecnologías bien desarrolladas para generar a partir de ella energía calorífica, quemándola en calderas y combustibles líquidos y gaseosos, tales como alcoholes etílicos, metílicos o metano, utilizables con solo modificaciones menores en dispositivos que actualmente queman hidrocarburos.
- Muchas de las sustancias orgánicas obtenidas del petróleo, gas-natural o carbón empleadas en industrias como la petroquímica - pueden obtenerse a partir de la biomasa (véase el cuadro 1).

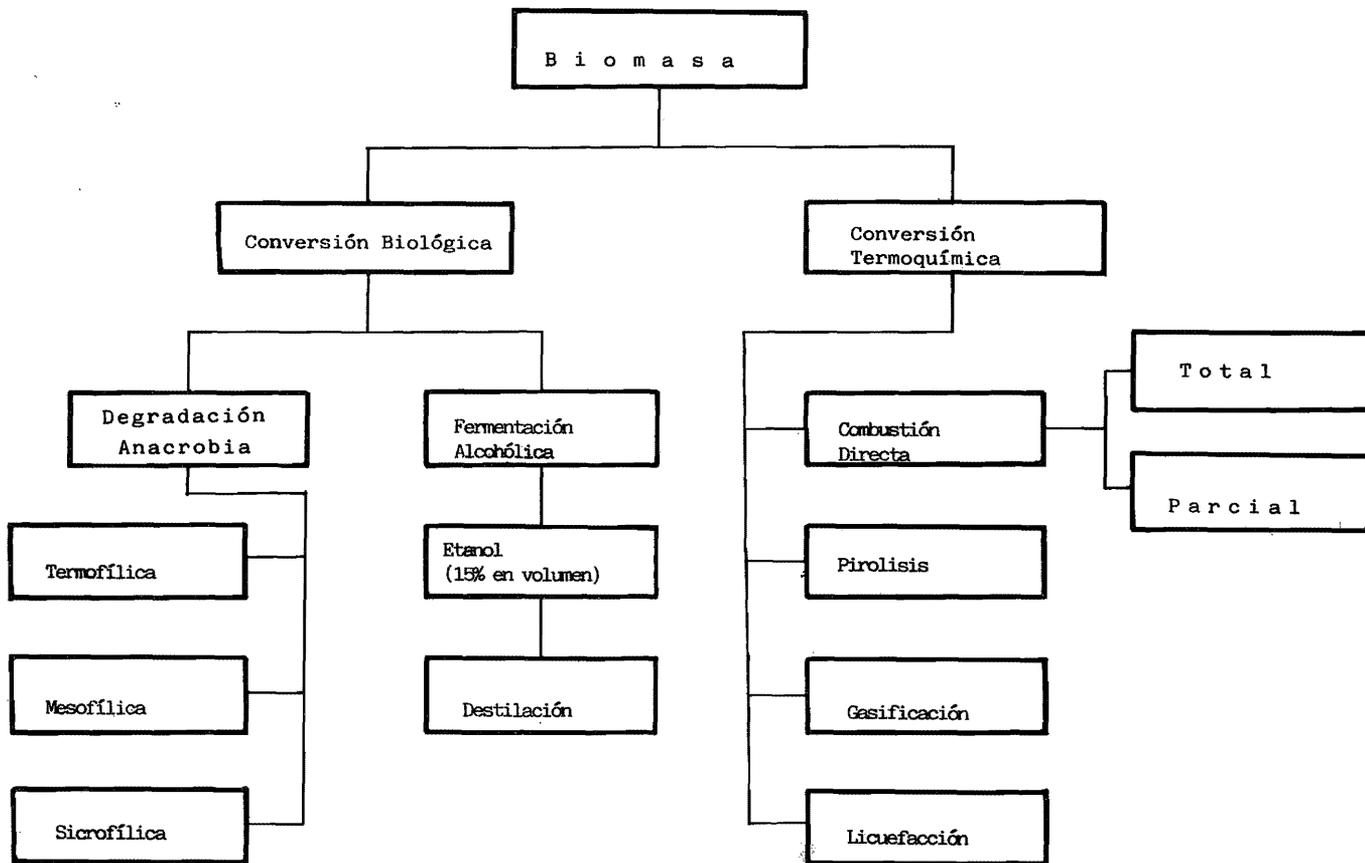
Según Concheiro y Viqueira ⁽³⁴⁾, las tecnologías empleadas para el aprovechamiento energético de la biomasa han sido clasificadas de acuerdo al cuadro de la página siguiente (ver el cuadro N° 1).

A) El proceso originado por la conversión biológica puede describirse de la siguiente manera:

(34) Ibidem., p. 188.

Cuadro N° 1

Principales Posibilidades De Conversión De La Biomasa En Energía Primaria.



Fuente: A. Concheiro y R. Viqueira., "Alternativas Energéticas ed. CONACyT., México, 1985. p. 190.

La conversión biológica de la biomasa en combustibles puede lograrse mediante la degradación anaerobia (biometanación) en azúcares o almidones o, después de la depolimerización química o enzimática de lignocelulosa en azúcares simples y lignina. Los dos procedimientos son anaeróbicos e involucran un proceso de fermentación. La diferencia entre ellos, radica en el tipo de microorganismos empleados en sus actividades de digestión y los productos obtenidos⁽³⁵⁾.

A.1 Biometanación.

En el proceso de biometanación, los desperdicios orgánicos o biomasa con alto contenido de humedad alimentan a un recipiente llamado degradador biológico. Debido a la acción de microorganismos adecuados, la materia orgánica se transforma en "biogas" (una mezcla de bióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), esencialmente), que puede aprovecharse como combustible produciéndose, además, lodos residuales empleables como mejoradores de suelos o fertilizantes.

El tratamiento de la materia orgánica mediante la digestión anaeróbica cumple así tres funciones:

- Producir un gas combustible.
- Producir mejoradores de suelos, fertilizantes o complementos

(35) Ibid., p. 189.

tos de alimentos forrajeros.

- Reducir la contaminación ambiental producida por la disposición de desechos no tratados⁽³⁶⁾.

Labiodegradaciónse realiza en tres procesos degenerativos:

- Hidrólisis enzimática
- Acidulación
- Metanación

Las bacterias productoras de gas metano, llamadas por ello metanogénicas, se cuentan entre los organismos más estrictamente anaeróbicos que se conocen, e incluyen los siguientes géneros: Metanococeus, Metanobacterium, Metanospirillum, Metanobacilos. Usualmente no son móviles, crecen con lentitud, empleando para ello tres días aproximadamente, y se encuentran en forma natural en estiercoles, pantanos y aguas negras⁽³⁷⁾.

Según las temperaturas a las que ocurren los procesos de degradación anaeróbica pueden clasificarse en: Sicrofílicos, que ocurren entre 10 y 25°C; Mesofílicos, que ocurren entre 25 y 42°C y Termofílicos, que ocurren entre 50 y 55°C; los procesos en el rango sicrofílico tienen poca importancia por la pequeña tasa de actividad que presentan las bacterias metanóge-

(36)

Ibid., p. 192.

(37)

Ibid., p. 195.

neas que se desarrollan a esas temperaturas.

Los principales factores que fijan el costo de un digestor -- son la tasa de producción de gas metano y lodos (la calidad de éstos), y el tiempo de retención de la mezcla en el interior del degradador

Según la forma de alimentación pueden distinguirse dos tipos diferentes de biodigestores: Intermitentes y Continuos.

Cuando la alimentación es intermitente eldegradadorse abra y se cierra⁽³⁴⁾. La producción de biogas se manifiesta algún -- tiempo después, alcanza un máximo y vuelve a declinar.

En losdegradadoresde alimentación continua, una vez estableci das las condiciones normales de operación, la materia orgánica se alimenta diariamente (una o dos veces por día) se acuer do al volúmen deldegradatory el tiempo de retención hidráulica del diseño.

Todos los estiercoles son aprovechados en biodegradadores, los más investigados han sido de ganado vacuno y porcino, siguiéndoles en importancia los de aves de corral (gallinas principalmente), caballo y carneros. El estiércol del ganado vacuno

(38)

Ibid., p. 195.

es el más favorable, ya que una vaca excreta aproximadamente el 8% de su peso al día entre estiércol y orina, estando la mayor parte del primero triturado y semidigerido por microorganismos existentes en el rumen del animal. Por su parte el estiércol de ganado porcino tienen olor muy penetrante y posee una notable tendencia a bajar su nivel de pH durante el proceso de digestión. El estiércol de aves de corral presenta limitaciones ya que en parte es el que contiene un mayor porcentaje de sólidos volátiles y por tanto el que permite una mayor producción de biogas por unidad de estiércoles frescos. Las heces humanas presentan problemas en su manejo y no son comúnmente empleadas como materia prima de la biodegradación, salvo en los grandes sistemas de tratamiento de desechos urbanos (véase la ilustración N° 4)⁽³⁹⁾.

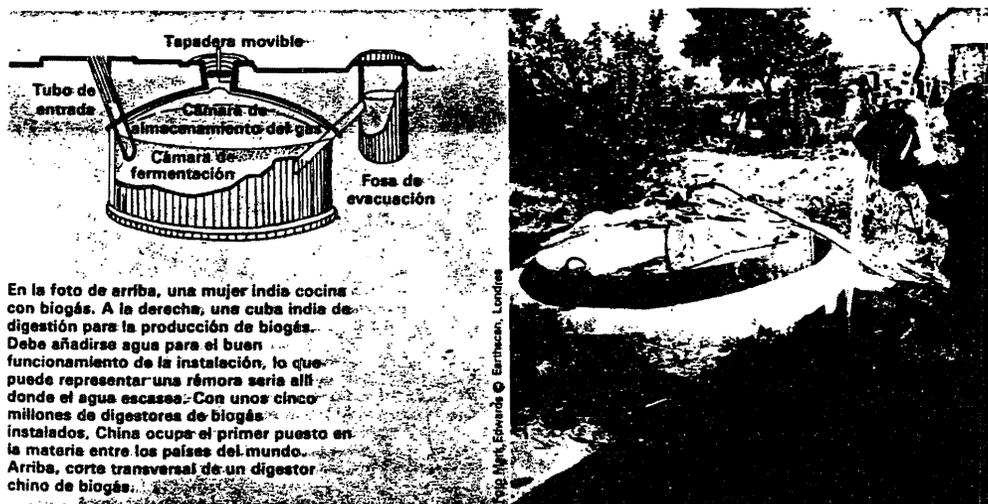
Para aumentar la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica se han propuesto diferentes pretratamientos de la materia orgánica. Entre ellos están: Procesos físicos (fraccionando, reducción del tamaño de los sólidos en la carga, control de humedad, entre otras); caloríficos (ebullición, vaporización, y congelamiento); de presión o químicos (ácidos o alcalinos o uso de SO_2): degradación aeróbica e irradiación (rayos gamma o electrones de alta velocidad)⁽⁴⁰⁾.

(39) Ibid., p. 196.

(40) Ibid., p. 196.

Ilustración N° 4.

Ejemplo de un dispositivo técnico diseñado para aprovechar los -
residuos orgánicos en la producción de biogás.



En la foto de arriba, una mujer india cocina con biogás. A la derecha, una cuba india de digestión para la producción de biogás. Debe añadirse agua para el buen funcionamiento de la instalación, lo que puede representar una rémora seria allí donde el agua escasea. Con unos cinco millones de digestores de biogás instalados, China ocupa el primer puesto en la materia entre los países del mundo. Arriba, corte transversal de un digestor chino de biogás.

Foto Mark Edwards © Earthscan, Londres

Dibujo El Correo de la Unesco, Fuente A. Van Buren, Londres

Fuente: Rev. El Correo de la UNESCO., julio 1981, año XXXIV, p. -

Es conveniente mencionar que la diversidad de sistemas de degradadores de tipo anaeróbico son amplias. Los existen de una - tapa de dos tapas, de contacto anaeróbico, de película adherida a un filtro anaeróbico; pero el principio de su construcción es básicamente el mismo.

A.2 Fermentación Alcohólica.

El etanol es un alcohol empleado como combustible en sustitución de la gasolina o mezclado con ella y como insumo en la obtención de productos químicos (vitaminas, antibióticos, solventes y otros).

El etanol puede obtenerse a partir del etileno, el que a su vez se obtiene de los hidrocarburos. Es posible, también, producirlo a partir de la fermentación de la biomasa rica en - - azúcares o almidones, tales como la remolacha, mandioca, sorgo, maíz, caña de azúcar y subproductos como se ha realizado efectivamente desde hace varios siglos⁽⁴¹⁾.

El etanol se obtiene a través de dos procesos: a) Hidrólisis- (obtención de glucosa), extrayendo azúcares al convertir almidones y celulosa en glucosa y eliminando partículas sólidas;- el proceso de hidrólisis puede ser químico (hidrólisis ácida),

(41)

Ibid., p. 201.

o enzimático (hidrólisis por enzimas); y b) Fermentación, convirtiendo, mediante levadura, la glucosa en etanol, CO_2 y vinaza (un subproducto no fermentable que también puede emplearse como combustible, como materia prima para la biometanación o si contiene proteínas, como complemento alimenticio de animales⁽⁴²⁾).

La caña de azúcar, el sorgo, las frutas y la remolacha son los cultivos más fácilmente convertibles en etanol; los azúcares de la fermentación se obtienen con pretratamientos suaves, tales como prensado, corte o lavado.

Los cultivos ricos en almidones (papa, maíz, cereales, mandioca u otros), generalmente se aplastan o remuelen antes de ser fermentados, se les agrega agua y se cocinan para incrementar su área superficial y convertir en una gelatina el sustrato de almidones. Cuando la mezcla resultante se enfría, se hidróliza enzimáticamente⁽⁴³⁾.

La tecnología de los procesos de conversión biológica y fermentación alcohólica puede considerarse en términos generales, comercialmente disponibles. Para algunos procesos, y en algunos países incluso puede hablarse de una aplicación masiva. Sin embargo, existe aún un amplio campo de investigación sobre ambas tecnologías.

(42) Ibid., p. 201.

(43) Ibid., p. 202.

Los procesos de degradación anaeróbica más desarrollados son aquellos que emplean como insumo desechos urbanos, aguas negras, o desechos animales.

Para el tratamiento de desechos urbanos se emplean grandes degradadores menudo con una capacidad mayor de 3000 m³, equipados con intercambiadores de calor, brazos mecánicos o equipos de bombeo para agitar la mezcla, y costo aproximado de 250 dólares, los Estados Unidos son los líderes en esta rama de aplicación tecnológica.

Los degradadores para desechos animales han sido propuestos como una solución apropiada a las regiones pobres. Los países con mayor número de degradadores instalados de este tipo son la República Popular de China y la India. La difusión de estas tecnologías en ambos países datan de la década de los setentas. En China se reporta la existencia de alrededor de 7 millones de biodegradadores instalados hasta 1987, en la India es aproximadamente de unos 100,000 para el mismo año. Otros países como Corea con 24,000 (1973) y Taiwan con 7,500 (1977). La casi totalidad de estos degradador son de tipo mesofílico y de pequeña capacidad, llamados de "Tipo Familiar" los cuales tienen una capacidad de 3 a 10 m³ (44).

Durante los últimos años se han canalizado en un gran número de (44) Ibid., p. 208-209.

países, importantes esfuerzos de investigación y desarrollo al área de biodegradación anaeróbica. Buena parte de ellos orientados a determinar la biodegradabilidad de diferentes compuestos orgánicos; los estiércoles animales han sido los desechos más estudiados, pero desde la última mitad de los setentas, se ha incrementado el interés por el aprovechamiento de residuos vegetales, tales como: tallos de maíz, pajas, pastos y plantas acuáticas solas o en mezclas sinérgicas, y de combinación de residuos animales y vegetales.

La tecnología para la fermentación alcohólica y la obtención de etanol esta bien establecida. Existen instalaciones de tipo industrial en Brasil, los Estados Unidos, la India, Zimbabwe, Nueva Zelandia y la Unión Soviética. Los países con programas ambiciosos en este aspecto son los dos primeros, donde se encuentra a la venta combustibles formados por una mezcla de etanol (10-20 por ciento) y gasolina (90-80 por ciento)⁽⁴⁵⁾.

B) La Conversión Termoquímica.

La tecnología de la conversión termoquímica parte del principio de que el calor aplicado a algún material producirá un calor residual, el cual se incrementará si se dispone de la tec-

(45)

Ibid., p. 216.

nología adecuada que aumente dicha capacidad de producción - - energética.

Los principales procesos objeto de la conversión termo-química son:

- La Combustión Directa
- La Pirólisis
- La Licuefacción
- La Gasificación

Los productos que se obtienen con estos procesos incluyen combustibles sólidos, aceites y gases de bajo o mediano contenido calorífico. Los gases pueden convertirse posteriormente en metano, metanol (alcohol etílico), hidrógeno y amoníaco, están disponibles comercialmente, mientras que la técnica que emplea el proceso de metanización esta actualmente en desarrollo.

B.1 La Combustión Directa.

La combustión directa de la biomasa es empleada por la gran mayoría de la población rural mundial para calentamiento y cocción de alimentos, siendo usada además en algunas instalaciones industriales para generar calor y vapor.

Los sistemas de combustión directa, cuyos principios de opera-

ción son de sobra conocidos, incluyen fogatas abiertas, cocinas aimple, hornos holandeses, calderas y unidades de lecho fluidizo. En las estufas y unidades de combustión bien diseñadas es posible lograr una eficiencia de hasta un 60 a un 80 por ciento, mientras que la combustión a cielo abierto se reduce al 5 ó 10%. La mayor parte de los sistemas industriales de combustión directa de la biomasa emplean cortezas celulósicas.

Para el aprovechamiento energético de los desechos sólidos urbanos (basura), mediante combustión directa, existen básicamente dos procesos:

- a) La incineración convencional sistema en el que los desechos se reciben y queman en sus sismas de emparrillado inclinado.
- b) La combustión de material en suspensión, que para homogenizar el material alimentado al sistema de combustión se emplean separadores magnéticos, clasificadores de aire, sistemas de cernido y otros sistemas también sofisticados⁽⁴⁶⁾.

B.2 Pirólisis.

La pirólisis es una descomposición técnica de biomasa en ausen

(46)

Ibid., p. 205.

cia de aire (aunque algunas tecnologías emplean aire en alguna parte del reactor). Los reactores pirolíticos operan a presiones cercanas a la atmosférica y temperaturas adecuadas para volatilizar la biomasa en líquidos y gases quedando como residuo - carbón vegetal. Cuando las temperaturas se controlan alrededor de los 205°C se obtienen sobre todo líquidos, mientras que con temperaturas cercanas a los 650°C se obtienen gases como producto principal.

Existen distintos procesos de conversión pirolítica, que emplean diferente materia primas, tipos de reactor, condiciones de operación y que obtienen productos diferentes. Los sistemas basados en retortas verticales son los de uso más común en procesos de alimentación continua. La destilación destructiva de madera y otros productos agrícolas para la producción de metanol, carbón vegetal y gas de bajo contenido calorífico, es también un proceso de pirólisis⁽⁴⁷⁾.

Entre los sistemas comercialmente disponibles o en estado de desarrollo avanzado pueden distinguirse:

- El horno de Nichols Herreschoff, usando como base para la producción de carbón vegetal "rostizado".

- El "Tech Air", desarrollado en el Georgia Institute of Tech-

(47) Ibid., p. 206.

nology.

- El "Occidental Flash Phirolysis", desarrollado para desechos urbanos con alto contenido de celulosa.
- El diseño por el "Garret Energy Reseach", para estiércoles.
- El diseño para el Tennessé Valley Authority (TVA) para desechos secos de madera.
- El sistema francés Nilsmelior.
- Los hornos alemanes D.F.P.

B. 3 La Licuefacción.

La licuefacción es un proceso en que los materiales con alto contenido de carbón pierden oxígeno a través de una reacción con monóxido de carbono. Al perder oxígeno y ganar hidrógeno, ya sea puro o a partir del agua, el material, se convierte en un aceite. La licuefacción puede darse procesando directamente la biomasa a través de un procedimiento de preeliminación directa o usando técnicas de gasificación.

B.4 La Gasificación.

Las tecnologías de gasificación de biomasa, tales como la pirólisis

sis y la licuefacción tienen sus antecedentes directos en los gasificadores de carbón construidos desde la primera mitad del siglo XIX, hasta alrededor de 1920, cuando el petróleo se estableció como el combustible deseable por excelencia.

En la gasificación, como un proceso termoquímico, la biomasa se convierte en una mezcla de gases que contienen monóxido de carbono e hidrógeno como principales combustibles. La gasificación se basa en la oxidación incompleta de la biomasa empleada como materia prima, produciendo gases de bajo a alto contenido calorífico, según se utilice aire y oxígeno puro y de acuerdo a las temperaturas y presiones de la reacción. Generalmente el gas producido tiene que purificarse antes de ser almacenado, transportado o empleado.

Un comentario acerca de los procesos de producción de energía calorífica a partir de las técnicas de conversión termoquímica es el siguiente:

Los procesos de conversión termoquímica son preferidos a los biológicos cuando la biomasa es materia celulósica seca.

La combustión directa es sin duda la tecnología de conversión termoquímica de mayor difusión. Una gran parte de la población rural del mundo depende de esta tecnología para la satisfacción de sus requerimientos energéticos. Durante los últimos años han apareci-

do múltiples diseños de cocinas económicas con eficiencias de 30-60 % superiores al uso directo del fuego. Las cuales han sido propuestas para su implantación masiva en los países más pobres.

Los procesos piróliticos modernos y sus aplicaciones comerciales están establecidos al menos en Estados Unidos, Europa y Japón. -- Los combustibles líquidos producidos mediante la pirólisis tienen bajo contenido de azufre, cenizas y nitrógeno, ocasionando pocos problemas en su combustión; sin embargo, en general no pueden utilizarse directamente en los equipos de combustión interna que operan con hidrocarburos.

2.2.3 LA INVESTIGACION SOBRE ENERGIA DERIVADA DE LA BIOMASA EN - LA REPUBLICA MEXICANA.

En 1981 para las investigaciones de desarrollo en biomasa, se estima en unos 100 millones de dólares anuales en EUA y Europa. En Brasil las inversiones en biomasa superan los 500 millones de dólares en el mismo año.

El programa brasileño en biomasa es, probablemente, el más ambicioso de todos los mencionados. Por una parte existe el programa de producción de etanol que podría llegar a 1000×10^6 litros, -- con precios al consumidor de 0.33 dólares (1981).

El programa brasileño en biomasa ha despertado cierta polémica, -- sobre todo por el impacto que puede ocasionar sobre la selva del amazonas, considerada como uno de los "pulmones" naturales del -- mundo, que podrá sufrir deforestación si se ejerce una explotación intensiva y poco cuidadosa.

Se han planteado también críticas al programa por la competencia que el programa de alcohol representa para la producción de alimentos de dicho país. De cualquier forma, Brasil es en la actualidad uno de los países líderes en la tecnología de la fermentación alcohólica⁽⁴⁸⁾.

(48)

Ibid., p. 220.

Se estima que en 1981 en México se invirtieron en programas de investigación y desarrollo de tecnologías para aprovechamiento de biomasa alrededor de 15 millones de pesos, los que representan -- aproximadamente un 0.05% de la inversión total nacional en investigación y desarrollo sobre fuentes de energía.

La tecnología de aprovechamiento de la biomasa más estudiada de México, y quizá la única investigada seriamente y de manera continua, es la biodegradación anaeróbica. Diversas instituciones tienen desde hace varios años proyectos de investigación, desarrollo y demostración en este campo, casi todos ellos referidos a degradadores anaeróbicos. Entre los principales se encuentran:

El Instituto de Investigaciones Eléctricas, en Cuernavaca, Mor., -- ha desarrollado degradadores mesofílicos con capacidad hasta de 40m^3 . Algunos diseños han sido implantados en comunidades rurales.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, ha estudiado la biogestión mesofílica a nivel experimental construyendo un tipo, con y sin filtro anaeróbico, en diseños de tipo chino, hindú y flujo tapón, -- para estiércoles de bovinos, porcinos, pollos, junto con la SEDUE y el INI han implantado biodigestores de 3 a 40m^3 en diferentes comunidades rurales e indígenas de los estados de Morelos, Tlaxcala y Oaxaca.

El Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad --

Nicolaíta de Morelia, Mich., trabaja desde hace unos 6 años en la biodegradación; ha construido y operado un biodegradador de 5.6m^3 de alimentación continua y desarrollo otro para tratar estiércoles - de 10,000 aves de corral.

Como parte del proyecto Xochicali se diseñaron y construyeron a - partir de 1975 dos gradadores en el rancho el Limón, Mich. y el - más pequeño San Vicente Chimalhuacán, Edo. de México, como parte - del proyecto de la Casa Ecológica Autosuficiente construida en di - cho lugar.

Puede decirse que en México se dispone de los conocimientos tecno - lógicos necesarios para la aplicación de la biodegradador anaeróbi - ca, y existen en la actualidad alrededor en un centenar de biode - gradadores anaeróbicos instalados en el país.

Respecto al resto de tecnologías para el aprovechamiento energético - co de la biomasa, la actividad nacional en cuanto a la investiga - ción y desarrollo o aprovechamiento, es practicamente nula, salvo en los casos de la combustión directa y los programas de incre - mento de los recursos maderables.

2.3 CONCLUSIONES DEL CAPITULO.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología en cualquier parte -- del mundo conlleva implícitas amplias movilizaciones de diversos factores como son: Personal calificado, es decir investigadores - de tiempo completo dedicados a tal efecto, recursos materiales, - disponibilidad de desarrollo y posibilidad de aplicación de lo -- descubierto, y lo más importante, los recursos financieros para - que tales actividades se lleven a cabo.

La República Mexicana como cualquier país que enfrente momentos - de gran dificultad y dura recesión económica, ha visto obstaculizado su desarrollo científico y tecnológico por una grave caren-- cia de recursos financieros que restringen los proyectos de inves- tigación y aplicación de estas tecnologías para aprovechar los re- cursos que se pueden obtener de la energía solar.

La utilización de estos tipos de energía conlleva, como ya se ha- mencionado, una fuerte tendencia a la sofisticación tecnológica, - a excepción del uso del carbón o la biomasa usada directamente - en forma de leña; esta tecnología no es tan fácil de desarrollar, y sobre todo de aplicarla en aquellos lugares donde más se necesi- ta, en las comunidades rurales.

Es importante tomar en cuenta que las fuentes de energía solar -- aprovechadas de forma directa no llevan la intención sólo de pro-

ducir energía eléctrica, como es el caso de los sistemas fotovoltaicos; sino que su posibilidad de aplicación es muy amplia, como es proporcionar agua caliente y calefacción para edificios, obtener energía calorífica y luminosa para uso directo en los hogares o la refrigeración, a través de motores acondicionados a este tipo de energía solar.

Los anteriores comentarios nos hacen pensar en una serie de consideraciones:

- La primera de ellas, como ya se mencionó, considera que el uso de la energía solar está restringido a un ámbito de carácter rural, su aplicación al contexto urbano, está marcada de manera puntual en la construcción de edificios (aplicación de la heliarquitectura), así como en la calefacción de edificios o para proporcionar electricidad en bajas cantidades. Dichos efectos se deben a que este tipo de energía "diluida" no puede competir con los combustibles "concentrados", como la electricidad proveniente de los hidrocarburos, las corrientes de agua o de la energía nuclear, aprovechada para el alumbrado público o impulsar complejos centros industriales.

- La proporción para el uso de este tipo de energéticos es difícil que amplíe, a excepción del uso del carbón vegetal o la biomasa empleada directamente como leña, ya que algunos autores opinan que el uso de éste tipo de energía solar aportará poco -

al capital energético mundial; sin embargo, su aportación no dejará de ser importante en aquellos lugares donde los hidrocarburos son más caros o difíciles de conseguir.

- Lo anterior parece indicar que el uso de éstos recursos energéticos modificará de manera sustancial el uso del espacio geográfico dedicado a la obtención de otro tipo de recursos naturales no solo dentro del contexto del ámbito mundial; sino también - el nacional, ya que México como país en vías de desarrollo demanda ya más y diversas fuentes de energía.

CAPITULO 3.- LA ENERGIA SOLAR APROVECHADA DE FORMA INDIRECTA.

Introducción.

Los combustibles solares indirectos son aquellas fuentes de energía que hacen uso de la energía solar, pero no usada directamente sino que presentan un uso de esta energía en un sentido más diluído; es decir, aquella energía que ya se ha aplicado para mover -- los grandes sistemas terrestres, como los que dan origen a la generación y circulación de los vientos y los movimientos de las -- aguas oceánicas y continentales; desde luego, es importante mencionar la acción que ejercen los cuerpos celestes como la interacción del sistema tierra-luna y el sol en el movimiento de los -- fluidos, principalmente las aguas oceánicas.

La posibilidad de extracción de energía de las aguas del mar es múltiple, existen tres procedimientos o medios para llevarlo a cabo, los que se expondrán a continuación: El primero, se refiere -- al aprovechamiento de las olas generadas por el viento; el segundo, considera la posibilidad de explotación de aquellos litorales donde la amplitud de las mareas posibilite la construcción de una central mareomotriz; la tercera, se refiere a la explotación de -- las diferentes temperaturas que en profundidad tienen el océano -- en determinados lugares. Aquí, como en todos los aspectos que se refieran a la explotación de las fuentes de energía no convencional, la posibilidad de que, tales fuentes de energía pueden tener

un aporte significativo en lo que va del siglo son escasos, y además los problemas tecnológicos y ecológicos son también amplios.

En lo concerniente a la energía generada por el viento, ésta ha merecido un tratamiento diferente, ya que, aún cuando es una fuente de energía solar indirecta, su uso y explotación tienen una historia distinta y su desarrollo tecnológico ha planteado un camino diferente.

La radiación interceptada en el sistema energético terrestre se divide, como ya se mencionó en el capítulo referente a la energía solar directa, en varios aspectos, en el presente capítulo se hace referencia de manera más específica en aquella parte de esta energía solar que mueve los sistemas de donde obtenemos la energía derivada de olas, viento, mareas y corrientes oceánicas convectivas.

La energía que calienta la atmósfera, la superficie terrestre y los océanos ocupa aproximadamente el 47% de la energía incidente (81.0×10^{12}); sin embargo, otro 23% ($40,000 \times 10^{12}$ vatios) se gasta en la movilización del ciclo hidrológico y es consumida en la evaporación, precipitación y escurrimiento superficial y subterráneo de las aguas continentales y oceánicas. Es importante mencionar que tanto la energía que calienta la atmósfera, como la que mueve el ciclo hidrológico inciden en la formación del viento y se relaciona de una forma directa con la dirección que han de se-

guir las corrientes marinas y la formación de las olas.

Otra pequeña fracción, de aproximadamente $(370 \times 10^{12}$ vatios) provoca los movimientos convectivos y circulatorios de la atmósfera, así como las olas del océano; disipándose, finalmente toda esta energía en calor por fricción, en forma de radiación de onda larga⁽⁴⁹⁾.

Otra fuente de energía es la gravitacional formada por el sistema tierra, luna y sol, y la conjugación de los movimientos de estos astros en la formación de las mareas oceánicas y terrestres, propiciando con esto una forma de apropiación energética que no proviene directamente de la energía solar, proporcionando 3.0×10^{12} vatios (véase la figura 1).

Por lo tanto se puede definir a los combustibles solares, aprovechados de manera indirecta como aquellas fuentes de energía que - para lograr un beneficio energético, tanto en forma mecánica, - - electricidad o empleando cualquier método, no se usa la energía - del sol directamente; sino que, es aprovechada por medio de manifestaciones secundarias.

El presente capítulo se ha dividido en dos partes, la primera de ellas, ordena y sistemátiza las experiencias en las que los prin-

(49)

Hubbert, M. K. Op. Cit. p. 66.

cipales procesos de obtención de energía provienen del mar y se -
trabajan bajo el siguiente orden: Energía producida por las ma- -
reas, la producida por el oleaje marino, así como la derivada de-
los movimientos convectivos de las aguas oceánicas; la segunda, -
también ordena y sistematiza la apropiación energética que se ha-
ce de la energía eólica. Ambas partes aún cuando sus fuentes ori-
ginales de energía son diferentes, se ha convenido agrupar bajo -
este orden con objeto de uniformizar los espacios geográficos don-
de éstas se desarrollan, así como propiciar observaciones directas
en el tipo de tecnología que usan o requieren para un adecuado --
aprovechamiento.

La información recopilada y analizada para cada uno de estos ti--
pos de recursos no ha sido la misma; sin embargo se ha tratado de
mantener la misma estructuración temática del capítulo precedente
como es: Un breve comentario histórico; uso y aplicación de la --
tecnología adecuada; niveles de investigación el contexto interna-
cional y perspectivas de desarrollo.

Por último en la parte referida a las conclusiones se hará refe--
rencias a la posibilidad de aplicación, en nuestro país, y de las
tecnologías que se han desarrollado para un correcto aprovecha- -
miento de este tipo de recursos, sin olvidar la posibilidad de su
uso desde una perspectiva basada en un criterio ecológico.

3.1 LA ENERGIA CONTENIDA EN LAS OLAS.

3.1.1 Usos y Formas de Aplicación de la Energía Contendida en las-Olas.

Las olas son producidas por el efecto del viento sobre la superficie del agua, este movimiento es tal que cada partícula de agua - se mueve a una velocidad constante dentro de un movimiento circular. Como consecuencia de éste fenómeno no existe una translación neta de las partículas del agua. Por lo tanto puede decirse que - la ola transmite una determinada cantidad de energía y de materia (agua).

Por lo anteriormente expuesto para poder extraer la energía de la ola se requiere de algún tipo de mecanismo flotante para absorber la energía de la ola que viene de frente.

Los mecanismos para lograr la conversión de esta energía potencial que existe en el oleaje marino han estado sujetas a procesos de experimentación en los laboratorios de países como la Gran Bretaña, Japón, Estados Unidos y México; que han logrado avances al respecto y creado una tecnología para su aprovechamiento energético. A continuación se describen algunos de estos avances sobre la obtención de éste tipo de energía.

Puede mencionarse que no existen hasta la fecha, instalaciones que

produzcan energía a excepción de los proyectos de experimentación de laboratorio centrales de este tipo. Se están construyendo y ensayando varios prototipos experimentales, por lo tanto países como el Reino Unido y Japón están a la vanguardia de ésta labor.

Los procesos experimentales para la obtención de energía de las olas marinas esta dada por los siguientes proyectos tecnológicos:

- A) El flotador diseñado por Salter.
 - B) La versión del "Pato Bamboleante" de Salter.
 - C) El instrumento Lancaster de bolsa flexible.
 - D) Las boyas de referencia.
 - E) Las balsas Cockerrel.
- A) El flotador diseñado por Salter.

El flotador diseñado por Salter, propone la utilización de una boya basculante con una sección transversal específica, un principio de ataque se mueve con el vaiven de las olas, mientras que la sección transversal del borde de salida (o posterior) impide que se transmita cualquier movimiento detrás del flotador (veáse la ilustración 5).

Originalmente diseñado para trabajar en ambientes tan severos como los del Atlántico Norte o el Mar del Norte, el flotador tendría que soportar fluctuaciones intensas en periodos breves,

Ilustración N° 5.

El artefacto marino representado en esta fotografía hace referencia al flotador diseñado por Salter, un dispositivo mecánico capaz de transformar la energía cinética contenida en las olas del mar en otro tipo de energía principalmente mecánica o eléctrica.

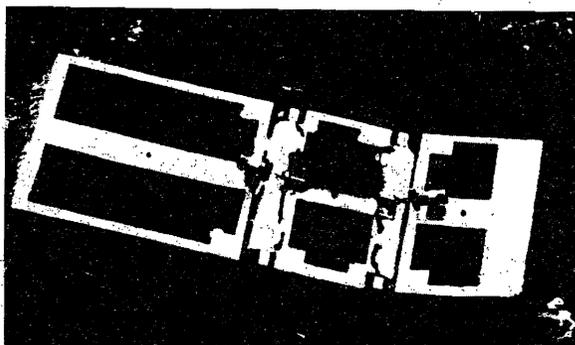


Foto © United Kingdom Atomic Energy Authority

Fuente: Rev. El Correo de la UNESCO., No. 37 año XXXIV., París,
Francia, Julio de 1981.

razón por la cual los mecanismos del flotador tendrán que ser--
desconectados de alguna manera. En otros momentos de intensi--
dad de las olas sería tan insignificante que se obtendría poca
o ninguna energía. Por lo tanto se necesitará de medios adecua--
dos de generación de reserva, lo que debilitará la economía de
energía de las olas⁽⁵⁰⁾.

B) Versión reciente del "Pato Bamboleante" de Salter.

Los miembros del equipo de Investigación de la Universidad de--
Edimburgo experimentan en el tanque de pruebas de un modelo a--
escala 1:75 de la más reciente versión de "El Pato Bamboleante"
de Salter, lo impulsa una de las compañías británicas que par--
ticipa en la carrera de extraer petróleo del subsuelo marino.

Originalmente "El principio del Pato", que semeja un cilindro--
aplanado por un extremo, se basa en que el bamboleo se convier--
te en un movimiento giratorio que se transmite a un generador.
Este principio, si resulta práctico, requiere de un complicado
sistema de palancas, engranajes y cadenas, que mueven un com--
plicado mecanismo que propicia la generación de energía eléc--
trica.

El nuevo aparato se basa en un sistema mucho más sencillo y ex--
perimentado: el del giróscopio, en una cámara hermética del ga

(50)

Mc. Mullan, Morgan y Murray. Recursos Energéticos. ed. Blume, Esp.1981--
p. 116.

to, hay un par de ruedas volantes activadas hidráulicamente y montadas en un giróscopio para crear una fuerza de inercia.- La presión del movimiento de bamboleo aplicada a esta fuerza - se usa para activar un gran número de bombas hidráulicas que rodean el aparato. Estas a su vez, operan unos motores hidráulicos para producir electricidad. Así cada aparato produce - - electricidad en su interior; ésta, a través de transformadores es conducida directamente al sistema de parrilla o criba - - - (grid) situado en tierra.

Se están diseñando los primeros "patos" de capacidad adecuada. - Consistirán en una serie de tubos de concreto reforzado de - - 10 m. de diámetro cada uno, de aproximadamente la misma altura y de más de 60 m. de largo con paredes de 50 cm. de espesor, - se espera que empiezen a funcionar a mediados de la década de los ochentas frente a la costa occidental de Escocia⁽⁵¹⁾.

Con la instalación de una serie de conversores eléctricos, instrumentos que transformen energía eléctrica la energía mecánica de las olas, el Reino Unido pretende lograr un abastecimiento promedio de 7 gigawatts de energía eléctrica. En 1976 el -- Instituto de Ciencias Oceanográficas del Reino Unido instaló -

(51) Sin autor, "Pato Bamboleante, Sistema para Aprovechar la Energía de las Olas". Rev. ICyT ed. CONACyT., Vol. 3, N° 40, México, D. F., Mayo de 1982., p. 40.

varios captadores de olas a lo largo de 42 km. al oeste de South Vist con lo que obtuvo por este lugar una fuerza potencial convertible de 48 kilowatts/metro⁽⁵²⁾.

C) El Instrumento Lancaster de Bolsa Flexible.

El proyecto Británico para investigar la obtención de energía eléctrica proveniente de las olas, cuenta con otro método, el cual consiste en provocar la presión de una bolsa de hule que produce un movimiento que se conectan a un mecanismo determinado. Las pruebas realizadas en la Universidad de Lancaster, en el Norte de la Gran Bretaña han demostrado que ese podría ser uno de los métodos más baratos en el aprovechamiento de la energía derivada de las olas. El instrumento Lancaster de bolsa flexible actualmente se somete a prueba en un tanque de oleaje de dicha institución.

D) Las Boyas de referencia.

Las Boyas de referencia, inventadas por el Ing. Japónes Yoshio Masuda, son accionadas por la energía de las olas y se utilizan en el Japón desde 1965. Su principio en cuanto a funcionamiento, esta relacionado con el movimiento de las olas, éstas se aprovechan para aspirar y expeler el aire a través de una -

(52) Sin autor, Op. Cit. p. 40.

turbina de baja presión que hace funcionar un generador, la corriente generada basta para encender los faros de la boya. A principio de la década de los ochentas ya se trataba de emplear el mismo principio para generar energía en mayor escala, mediante una enorme boya en forma de buque de altura, el Kaimei; diseñado por el Centro de Ciencias y Tecnología Marina del Japón⁽⁵³⁾, (veáse la ilustración 6).

E) Las Balsas Cockerrel.

Así llamadas por el nombre de su inventor, Sir Cristoper Cockerrel, son plataformas articuladas que transforman en energía - mecánica el movimiento ondulatorio de las olas⁽⁵⁴⁾.

(53) Zaric, Z. Op. Cit. p. 27.

(54) Ibidem., p. 40.

Ilustración N° 6.



Foto © JAMSTEC Organismo Internacional de Energía

Boya de referencia en forma de buque de altura, diseñado por el -
Centro de Ciencias y Tecnología Marina del Japón.

Fuente: Rev. El Correo de la UNESCO., julio de 1981., año XXXIV.,
p. 24.

3.1.2 La Investigación Realizada en la República Mexicana de la Energía Contendida en el Oleaje Marino.

Las investigaciones que sobre energía derivada del aprovechamiento de las olas, que a nivel mundial, se ha realizado, indican -- que, aún cuando este tipo de energía esta aún en fase experimental, y de hecho, no existe ninguna central que genere energía a -- partir de éste principio, las actividades de investigación se realizan de una forma entusiasta.

En México, de manera específica, son diversas las instituciones -- que contribuyen con su experiencia a la posibilidad de extracción de energía de las olas del mar, con objeto de generar energía -- eléctrica y aprovechar el agua en otras actividades relacionadas con la acuacultura. Este proyecto fue creado por tres especialistas de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN.-- Participando en el diseño del mismo el Mtro. en Ciencias Miguel -- Vergara, quién a la vez es Coordinador e iniciador del proyecto,-- el Ing. Robie Bonilla Gris y el Dr. Juan Manuel Navarro Pineda -- (véase las ilustraciones 7 y 8).

Este proyecto tiene una relación de similitud con los que se han diseñado y proyectado en los Estados Unidos, Japón, Gran Bretaña, Francia y otros países donde sus gobiernos les han otorgado fuertes presupuestos⁽⁵⁵⁾.

(55) Repper, Luis. "Energía del Oleaje". Rev. ICyT. ed. CONACyT. Vol. 5, N°82-México, Julio de 1983. p. 18-19.

Ilustración N° 7



En la fotografía aparece el Ing. Robie Bonilla G. Trabajando en - una piscina de experimentación, en donde se llevan a cabo pruebas con objeto de profundizar en el conocimiento de tecnologías para aprovechar la energía contenida en las olas marinas. Dichas instalaciones se encuentran en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN.

Fuente: Rev. ICyT. ed. CONACyT., julio de 1983., Vol. 5, N° 82. - p. 19.

Ilustración N° 8.



Ahora bien, desde la perspectiva de la ingeniería aplicada a la construcción de las centrales marinas, esta es incipiente, y no se cuenta aún con instalación alguna, pero en cuanto a materiales se refiere para la construcción de una planta a futuro, se emplearán los originales (varillas, concreto, etc.). Por otra parte se han solucionado algunos problemas, como el que se refiere al diseño de la tecnología a las turbinas para bajas caídas, imprescindibles para la generación de energía obtenida en este medio.

En cuanto a que la energía proveniente del oleaje marino pudiese suplir a algunas de las demás fuentes de energía, esto es falaz, ya que no es la gran panacea de los sistemas de generación de energía, y desde luego, la energía proveniente del oleaje marino nunca desplazará a otras fuentes de energía. Sin embargo, puede contribuir a producir parte de esa energía necesaria⁽⁵⁶⁾.

(56)

Repper, Luis., Op. Cit. p. 19.

3.2 LA ENERGIA MAREOMOTRIZ.

3.2.1 Los Usos y Formas de Aplicación.

El método de aprovechamiento de la energía de las mareas, consiste en la construcción de una central oceánica sobre la línea del litoral, en donde la amplitud de la marea es más pronunciada pueda generar algún tipo de energía.

Aunque las mareas resulten de la interacción tierra-luna (como -- contraposición a la que ejerce el sistema sol-tierra), constitu-- yen posibles fuentes renovables para la generación electricidad -- derivada de la fuerza mareomotriz⁽⁵⁷⁾.

Para aprovechar esta fuente de energía, hasta el momento se han -- construido dos sistemas modernos: El primero, en el estuario de La Rance, Francia; y otro menor en Kislaya Guba, URSS; éstas centrales han demostrado que, en los lugares donde las condiciones son adecuadas la energía puede obtenerse de una manera económica. A pesar de lo sencillo de su construcción y funcionamiento, la posibilidad de encontrar estuarios u otro tipo de litorales donde -- las mareas sean producidas con cierta amplitud, esta situación -- constituye una limitante para su aprovechamiento, ya que dichos -- estuarios se encuentran distribuidos en pocas regiones de la tierra; y además, se encuentran alejados de los principales centros -- de consumo energético.

(57) Mc. Mullan, Morgan y Murray., Op. Cit., p. 175.

Una central mareomotriz consta de una cuenca artificial (por lo regular un estuario represado), en donde se puede contener el agua durante la marea alta⁽⁵⁸⁾. Cuando la marea desciende, permite el regreso del agua al mar haciendo funcionar de paso las turbinas. Al acumular el agua hasta la marea alta y después soltarla en un breve período de tiempo, que debido a estas condiciones están obligadas a operar con una carga de agua variable, por lo que pueden funcionar en ambos sentidos. Durante el llenado y vaciado de la cuenca; además, si fuese necesario, también pueden bombear el agua de la misma cuenca con la electricidad generada"⁽⁵⁹⁾.

La central más grande es la que se haya situada en el estuario de La Rance, en la Costa Atlántica Francesa de las Islas del Canal, inicia su puesta en marcha en 1966. La amplitud media de su marea es de 8.4 m., la capacidad inicial que tenía era de 240 megawatts, baja, si la comparamos con cualquier estación térmica más moderna, en este momento, ha aumentado la producción media anual a 550 0 megawatts/hora (este rendimiento comparado con su producción potencial es, sin embargo, del 18% de la potencia generatriz). Recientemente la generación de electricidad ha sido elevada a otros 320 megawatts/hora, aumentado su rendimiento en un 25 %, con la idea de que al llenar o vaciar la cuenca se puede obtener más energía adicional (véase la ilustración 9).

(58) Ibidem., p. 81

(59) Ibid., p. 82.

Ilustración N° 9.

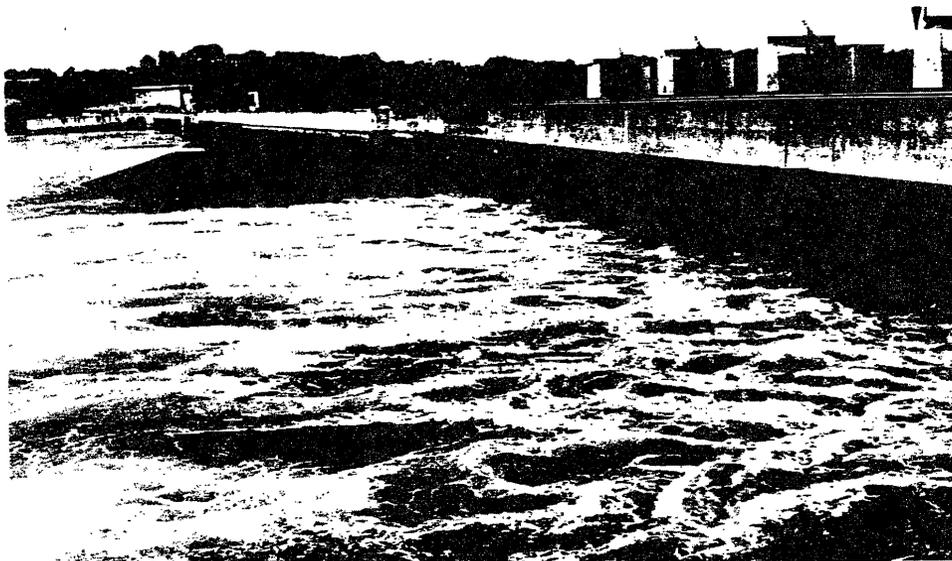


Foto Pavlovskv © Svama Paris

La central mareomotriz de la Rance, ubicada en las Islas del Canal, Francia, prototipo de las centrales de este tipo.

Fuente: Rev. El Correo de la UNESCO, Julio de 1981, año XXXIV, --
p. 25.

Las perspectivas para que este tipo de energía pueda ser ampliada son limitadas, ya que, solamente unas cuantas estuarios o bahías en el mundo ofrecen perspectivas para instalar proyectos de magnitud relativamente grande. Habría también que tomar en cuenta la sucesión de las mareas en el lugar de construcción de una central, ya que las centrales mareo-motrices permanecen en actividad tan solo una cuarta parte del tiempo que están en funcionamiento, variando su producción, no según la demanda de electricidad; sino de acuerdo a la periodicidad de las mareas.

Esto, desde luego, no quiere decir que esta fuente de energía no este llamada a jugar un papel importante en el consumo energético mundial. La variabilidad de los precios de los combustibles y la disminución de las reservas existentes influirán positivamente en el desarrollo de la tecnología mareomotriz.

Durante algún tiempo el interés de los investigadores norteamericanos y británicos se ha concentrado en el estuario del río Svern, en la Gran Bretaña y la Bahía de Passaquoddy en la Costa Oeste, - en la frontera entre los Estados Unidos y Canada. Al respecto M.-King Hubbert, hace el siguiente comentario: "El desarrollo de los lugares favorables que existen en la tierra reportan unos 13,000-megawatts, aproximadamente de capacidad generatriz, lo que equivale al uno % del potencial total de la energía hidroeléctrica⁽⁶⁰⁾.

(60)

Hubbert, M.K., Op. Cit., p. 82.

Así mismo, se ha considerado que solo unos 25 lugares en el mundo satisfacen las condiciones de amplitud en cuanto a marea y topografía costera, para la construcción de centrales mareométricas.

La República Mexicana debido a sus casi 5 000 kilómetros lineales de costas, que contienen una amplia diversidad de tipos de litorales, debería de contar con un registro de aquellos lugares en donde la amplitud de la marea es importante, esto no ha sido así, ya que dicha actividad no se ha llevado a cabo. Por lo tanto, y aun cuando se tenga como un trabajo que no tuviese importancia inmediata, estos estudios pudiesen servir de base para futuros planeamientos en cuanto al aprovechamiento de este tipo de recursos.

3.3 LA ENERGIA TERMICA DE LOS OCEANOS.

3.3.1 Antecedentes Históricos.

Las fuentes de energía proveniente del aprovechamiento indirecto del sol son conocidas desde la antigüedad, las que desde las diversas culturas antiguas se venían utilizando; sin embargo, su uso se generaliza en Europa aproximadamente en el siglo XII d.c.

Para el caso concreto de la energía térmica de los océanos, fue el físico francés Jacques D'Arsonval quién en 1919 construyó en la isla de Cuba una planta piloto de 22 kilowatts. En el siglo XX en la década de los años setentas, algunas compañías como la Lockheed Missils and Span Co. quienes poseen vasta experiencia en tecnología militar y espacial, han realizado diversos proyectos para la explotación de este tipo de energía. Proponen, entre sus ideas más importantes, la utilización de las diferencias de temperatura para evaporar y condensar amoniaco como parte de un ciclo que pone en funcionamiento enormes turbinas para la generación de electricidad. Este proceso ha sido denominado The Ocean Thermal - Electric Convertion (OTEC)⁽⁶¹⁾. Sin embargo, los cuestionamientos técnicos para llevar a cabo este proyecto en este momento son su principal freno.

Jacques D'Arsoval fue quién en 1881 tuvo la idea de la conversión

(61)

Zaric, Z. Op. Cit., p. 27.

de las diferentes temperaturas del mar, su procesamiento mecánico, y por último su conversión a electricidad a través de un generador. Sin embargo, fue su alumno, el también físico Georges Claude, quien hizo la primera demostración de la teoría, utilizando simplemente una barcaza en el mediterráneo. Más tarde a fines de la década de 1920, construyó una central en Cuba. El experimento produjo realmente electricidad pero una tormenta destruyó las canalizaciones de agua fría. Como en aquel entonces el petróleo era muy barato y abundante, la central no se volvió a reconstruir. -- Claude utilizaba el agua de mar como líquido energético, de modo muy semejante a como las centrales de energía térmica utilizan el vapor para producir electricidad.

Actualmente, son los Estados Unidos los que están poniendo en --- práctica el problema más importante en esta materia, con un financiamiento público que ha pasado de los 700,000 dólares en 1964 a los 56,000.00 previstos para 1978. Hay también otros países que se dedican a estudiar la energía térmica de los océanos, como Japón cuyos investigadores y científicos vienen trabajando intensamente en ello desde 1973, existe además un consorcio de naciones y empresas europeas que están empeñadas en esta clase de investigaciones.

3.3.2 Los Usos y Formas de Aplicación.

Los océanos y mares del mundo ocupan dos terceras partes de la superficie terrestre, e interceptan casi el 60% de la energía solar que incide sobre la superficie de la tierra. La conversión de la energía térmica de los océanos es una forma de producción de electricidad para las necesidades humanas.

Las posibilidades en cuanto a la utilización de este recurso son amplias. Tomando el criterio de la UNESCO,⁽⁶²⁾ al respecto, puede decirse que: Tanto en las corrientes marinas como en la diferencia de temperaturas de los depósitos de aguas profundas existen acumulados de 5 a 8 terrawatts de energía; pero, las implicaciones tecnológicas para este aprovechamiento están en una fase experimental. Otra posibilidad, indica que: Según ciertos cálculos, se podrían producir todos los años 180 billones de kilowattios/hora, simplemente en la Corriente del Golfo y a lo largo de la Costa Oriental de los Estados Unidos. Tal cifra es aproximadamente 75 veces superior a la energía que consumirá dicho país en 1980⁽⁶³⁾.

Podemos definir a la Energía Solar Térmica o Energía Térmica de los Océanos: como aquella que utiliza el calor constante de los depósitos marinos y océanos los cuales conservan la energía del sol las 24 horas del día. Esta conversión aprovecha la diferencia de temperaturas entre las aguas superficiales calientes del océa-

(62) Ibidem, p. 27.

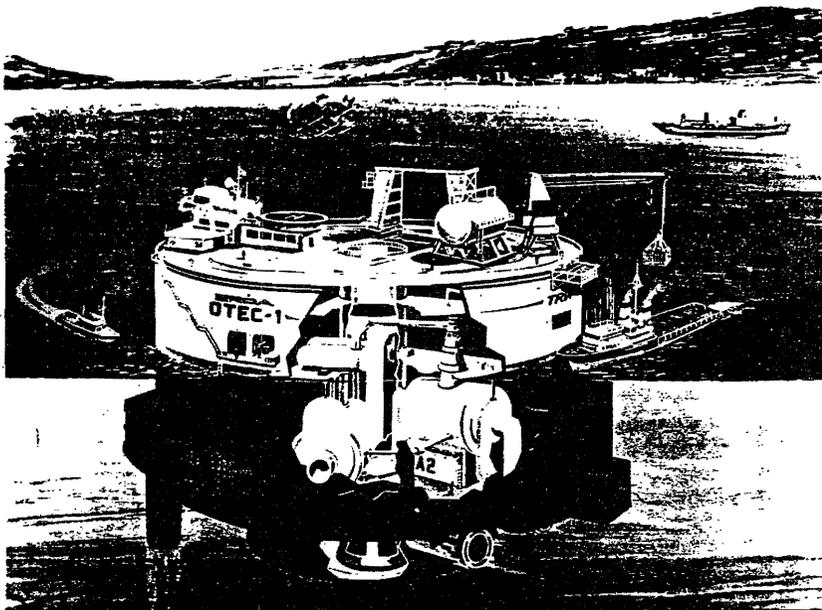
(63) Ibid., p. 27.

no y las profundas aguas frías con objeto de producir, por medio de termopermutadores, energía eléctrica.

En esta segunda mitad del siglo XX son diversos los países que -- tienen en proceso de experimentación este tipo de proyectos, entre ellos los Estados Unidos de América, en donde a este proyecto se le ha denominado con el nombre de OTEC (Ocean Thermal Electric Conversion), y cuyo principio se basa en la utilización de la - diferencia de temperaturas para evaporar y condensar amoníaco como parte de un ciclo que pone en funcionamiento turbinas para lograr la generación de electricidad (véase la ilustración número - 10).

Las tecnologías que se han diseñado para la captación de dicha -- energía, según la revista El Correo de la UNESCO, y basados en el proceso OTEC, indica que pueden considerarse dos tipos de experimentos a saber: el de "Ciclo Cerrado" y el de "Ciclo Abierto". En virtud del primero, se bombea el amoníaco que tiene temperatura - de ebullición muy baja, el cual al expandirse fluye por un circuito cerrado, el amoníaco es calentado por el agua captada del mar, transformándose en vapor. Este pasa a través de una turbina donde se expande, poniendo en movimiento un generador, al salir enfriado y con menor fuerza de presión penetra en un termopermutador -- donde se enfría aún más hasta convertirse de nuevo en líquido, -- con lo que el ciclo vuelve otra vez a comenzar. En un sistema - - OTEC de ciclo cerrado o abierto, se utiliza el agua marina como -

Ilustración N° 10



El sistema OTEC, (Ocean Thermal Electric Converti6n), como el -- que aqu6 se representa, constituye la aproximaci6n t6cnica m6s -- viable para explotar el recurso energ6tico producido por la dife- -- rencia de temperatura en el oc6ano.

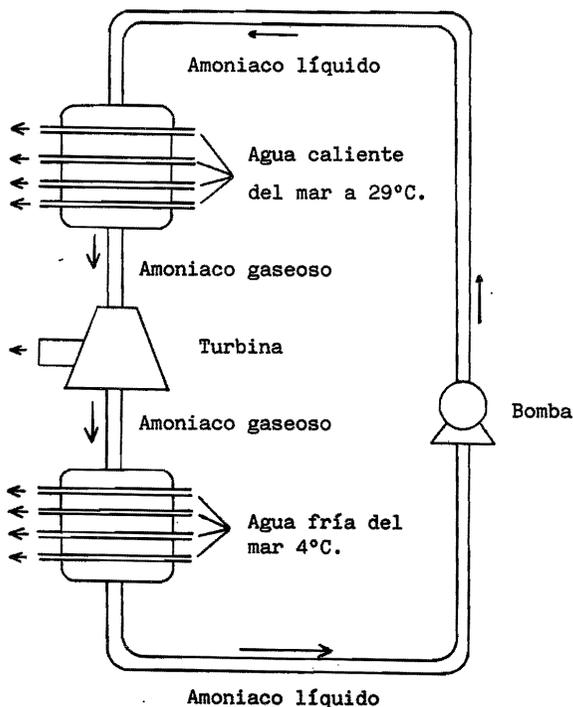
fluido de funcionamiento: Su temperatura de ebullición se reduce haciéndola pasar por una cámara de vacío mantenida al 3.5 % de la presión atmosférica normal (véase el diagrama 4).

Planteado aún como un proyecto, se ha pensado además de las instalaciones fijas ya mencionadas, el estudio de otro proyecto: el de las Centrales Océánicas Transhumantes, las cuales se ubicarán ya en los litorales cerca de las zonas oceánicas donde existen grandes diferencias de temperatura que cambian periódicamente en los océanos, se pretende que se llevarían allí o como complemento de los nuevos lugares de aprovechamiento del recurso se emplearían satélites para confeccionar los mapas de esas zonas y seguir sus desplazamientos.

Puede decirse que los países que más ampliamente trabajan con este tipo de proyectos son básicamente los Estados Unidos de América, Japón y algunos países de la Comunidad Económica Europea. Sin embargo, puede tenerse en cuenta que este tipo de proyectos continúan en fase experimental, y el aporte que puede ofrecer a la demanda energética mundial, dadas las condiciones de desarrollo tecnológicos, la falta de capital para financiar proyectos de investigación, además del ambiente agresivo donde estas centrales han de actuar, descartan la posibilidad de desempeñar un papel importante, en términos de aporte energéticos en lo que falta del siglo.

Diagrama N° 4.

El diagrama ilustra el sistema referente al ciclo cerrado del sistema OTEC, cuyo principio se basa en la utilización de las diferencias de temperatura para evaporar y condensar amoníaco, como parte de un ciclo que pone en funcionamiento turbinas que proporciona la producción de energía eléctrica.



Dibujo C R. Meyer. OTEC. Chicago Ills.

Como punto similar a lo que sucede con la investigación que pudie se realizarse en cuanto al uso de la energía mareomotriz, puede -- comentarse que, aún cuando en nuestro país existen los medios naturales para poder llevarla a cabo, no tiene ningún proyecto en nuestros medios de investigación que hagan referencia a este tipo de investigación tecnológica.

Las causas que condicionan la situación anterior no parecen co-- rresponder a la falta de perspectivas en cuanto al uso más inte-- gral de nuestros recursos, sino que, por el contrario obedece a -- graves diferencias en el suministro que se realiza de los recur-- sos tanto materiales como humanos para el desempeño de las actividedades de investigación sobre procesos tecnológicos.

Por ello, y aún cuando se pudiese plantear un proyecto que impli-- que el aprovechar estos recursos, las condiciones económicas del-- país, así como su estatus político, le resta importancia a las -- actividades como esta.

3.4 LA ENERGIA EOLICA.

3.4.1 Antecedentes Históricos.

La energía eólica ha sido aprovechada como fuerza motriz en la navegación y para generar energía mecánica en molinos de granos y bombeo de agua desde tiempos muy remotos. Sin embargo, solo desde fines del siglo pasado se ha empleado para la generación de otros tipos de energía, como la eléctrica.

La historia de la energía eólica, o de los vientos se remonta al año 3500 a. de C., cuando los Sumerios construyeron las primeras embarcaciones de vela. Después, los griegos armaron máquinas que funcionaban con el viento. Este fue desde la antigüedad el motor de las embarcaciones. Han pasado 5000 años y los veleros aún surcan los mares.

Otra aplicación familiar en cuanto al aprovechamiento del viento son los molinos de viento. La historia del molino es confusa, hay quienes afirman que el primero de estos molinos surgió en Seistán, Persia (hoy Irán), aunque parece que existen indicios anteriores de su existencia en la Isla griega de Miconos⁽⁶⁴⁾.

Los Chinos utilizaron desde la antigüedad los molinos eólicos para bombear el agua y regar sus tierras, un caso notable fue el --

(64) Tonda, Juan. "Lo que el Viento No se Llevo", Rev. ICyT. Ed. - CONACyT, Vol. 10, N° 146, Nov. de 1988, p. 46.

uso de carretillas impulsadas con velas para facilitar el transporte de mercancías de un lado a otro. Ya en el siglo XIX, los chinos construyeron un vagón de ferrocarril de pasajeros que tenía una gran vela; la principal desventaja era que la espera, en ocasiones, era bastante larga (65).

Existen indicios de que probablemente en China ya eran conocidos los molinos de viento durante la misma época. Estos primeros molinos eran de eje horizontal y movían un par de piedras redondas directamente cada uno, sin emplear engranes. Quizá, estos molinos fueron introducidos por la cultura árabe, en Europa durante el siglo XII.

Los molinos de viento "emigraron" rápidamente a Europa. Por un lado llegarón al norte de África y a España, y por otro lado, al este de Europa, a través del Mar Caspio. La primera alusión directa a ellos ocurre en 1105, cuando por encargo del Papa, el Abad de Savigny, recién mandó construir varios molinos en diversas provincias francesas.

Los molinos adquirieron rápidamente importancia en la época medieval para la molienda de granos. Estos primeros molinos tenían aspas montadas sobre un poste fijo, de manera tal que pudiesen recibir el viento proveniente de todas direcciones.

(65) Tonda, Juan; op.cit., p.47

A principios del siglo XIII los molinos eólicos invaden toda Europa, y es precisamente al final de éste siglo cuando aparecen los famosos molinos holandeses usados para bombear agua.

A principios del siglo XIV se desarrollarán en Francia los molinos de torre, con una cúpula móvil que podía girar sobre un eje vertical para que las aspas enfrentasen la dirección de los vientos dominantes en todo instante.

Hacia el siglo XV los molinos de viento y agua se habían convertido ya en el complemento más importante de la fuerza humana y animal. Durante ese siglo se desarrollarán en los países bajos los llamados "Molinos de poste hueco". Por su parte en la China del siglo XVI, también se empleaban molinos de viento de tipo horizontal para producir sal común evaporando depósitos de agua salubre. Durante el siglo XVII la tecnología de molinos estaba ya bastante desarrollada, siendo los diseños holandeses los más avanzados. Se estima que para entonces existían unos 10,000 molinos de viento, de entre 18 y 20 caballos de fuerza cada uno (aprox. 110 MW en total) en Gran Bretaña y unos 12,000 en los Países Bajos (unos 125-MW en total).

Entre las aplicaciones poco usuales de la energía eólica figura un ventilador que construyó el doctor Stephen Hale en 1752, para la prisión londinense de Newgate, debido a que las condiciones sanitarias no eran precisamente las más adecuadas, pero no solo la-

práctica eólica, tuvo sus logros. En 1759 John Smeaton presentó - ante la Real Sociedad de Londres un tratado titulado: Cuestiones Experimentales Relativas a la Fuerza Natural del Agua y el Viento (66).

En 1782 aparece el motor de Watt y con el se abre la puerta para la revolución industrial, con sus máquinas térmicas más eficientes, más baratas y que podían funcionar continuamente, lo cual trae como consecuencia que se presente menos atención al uso de sistemas eólicos. A fines del siglo XVIII y durante todo el siglo XIX, el aprovechamiento de la fuerza de los vientos quedó como mera curiosidad.

Durante el siglo XIX el principal objeto de atención en los desarrollos tecnológicos de molinos fueron las aspas y la forma de controlar automáticamente la velocidad del eje de rotación. A fines del siglo XIX, los Daneses, carentes de combustibles fósiles, habían conquistado el liderazgo tecnológico en el recurso eólico y se estima que tenían instalados unos 100,000 molinos de viento (con una generación de aproximadamente unos 1,000 MWe en total). A mediados del mismo siglo, D. Halladay introdujo las aerobombas en los Estados Unidos. Posteriormente, en 1883, S. Perry las fabrico en acero y su diseño fue copiado en todo el mundo ya que, aún cuando tenían deficiencias era eran baratas y confiables.

(66) Ibidem, p. 47.

El desarrollo de molinos de viento para producir electricidad se generalizó a fines del siglo XIX y principio del siglo XX. El primer aerogenerador productor de energía eléctrica fue diseñado por P. La Cour en Dinamarca y entró en operación en 1890, poco tiempo después que el primer generador eléctrico a vapor⁽⁶⁷⁾.

Hacia 1916 ya en Dinamarca se tenían en operación cerca de 1300 - aerogeneradores, con una producción de energía eléctrica de 500 - millones de Kh/año. En Estados Unidos, antes del inicio de su -- programa de electrificación rural de la década de los treinta, -- los pequeños molinos de vientos con una potencia menor a 0.5 KW, - eran prácticamente, la única fuente de energía eléctrica disponible para las zonas rurales.

En 1929 los franceses construyeron en Bourget, Francia un aerogenerador con aspas de 20 metros de diámetro colocados sobre una torre de 20 m. de altura con una capacidad de generación de 15 KW - de corriente directa a velocidades de viento de 6 m/seg., obteniendo con ello excelentes resultados.

El primer gran generador eólico es construido en la Unión Soviética hacia 1931 cerca de Yalta en el Mar Negro, con aspas de 30.5 - m. de diámetro y una torre de 23 m. de altura. La capacidad de generación de esta unidad era de 100 KW, y producía unos 280,000 -- KW/año, a una velocidad del viento promedio 11.1 m/seg.

(67) A. Concheiro y R. Viqueira. Op. Cit. pp. 229-230.

La investigación sobre el aprovechamiento de la energía eólica -- continúa llevándose a cabo en varios países, aún cuando, los bajos precios de los hidrocarburos durante el lapso comprendido entre 1950-1970 disminuyeron el interés por los aerogeneradores; -- sin embargo, a mediados de los setentas, y como consecuencia del aumento en los precios de los hidrocarburos, situación que afectó a los países más industrializados, y a los productores también, -- los programas de generación de energía eólica retoman el ritmo -- acelerado que continua hasta el presente.

3.4.2 La Tecnología más común Empleada para el Aprovechamiento de la Energía Eólica.

Los vientos ocurren por diferencias de presión generadas por un calentamiento no uniforme de la atmósfera terrestre. Como consecuencia de este fenómeno se desplazan grandes masas de aire de las zonas de alta presión a los de baja presión. Aproximadamente el 2 % del calor que llega a la tierra se convierte de manera natural en energía cinética (unos 3.5×10^{12} kilowatts), pero solo una pequeñísima fracción de esta energía puede captarse con provecho ya que buena parte de los vientos de alta velocidad ocurren en zonas montañosas altas con baja densidad de población o mar adentro, sobre los océanos.

Puede decirse que en los vientos que soplan, se acumulan aproximadamente, unos 2700 terrawatts⁽⁶⁸⁾ de energía; sin embargo, tan sólo la cuarta parte de éstos están a nuestro alcance en los primeros 100 m. de altura sobre la superficie terrestre, teniendo en cuenta que no toda esta energía se puede utilizar, se dispondrá como máximo de 40 terrawatts, si se construyeran instalaciones eólicas en todos los continentes. Ahora bien, aunque sólo se consiguiera utilizar un 10% de lo obtenido, esto es, 4 terrawatts sería una cifra similar a la del potencial de la energía hidráulica⁽⁶⁹⁾.

(68) Zaric, Z., Op. Cit., p. 24.

(69) Ibidem., p. 25.

Tomando en cuenta los anteriores comentarios y siguiendo un principio de orden dictaminado por la organización Meteorológica Mundial, esta institución ha estimado que poco menos del uno % de la energía cinética del viento es susceptible de convertirse en electricidad u otro tipo de energía derivada del viento y podría aprovecharse en los lugares propicios ya seleccionados, considerando con ello exclusivamente a las tierras emergidas.

La conversión de la energía cinética del viento a otros tipos de energía se realiza a través del trabajo efectuado por las aeroturbinas. Estos sistemas pueden tener diferentes aplicaciones entre ellas: el central, que es la generación de electricidad, la realización del trabajo mecánico directo para la molienda de granos, - el bombeo de agua, o la agitación de agua y otro fluido para producir calor a bajas temperaturas. En este último caso el calor -- producido puede ser almacenado y utilizado en el secado de granos, sistemas de refrigeración (por absorción del binomio amoniaco- -- agua) o simplemente para proporcionar agua caliente a una casa.

La conversión de la energía cinética del viento a otros tipos de energía como la electricidad o la calorífica puede ser efectuado de la siguiente manera: La fuerza del viento se convierte en energía eléctrica por medio de un generador de corriente alterna y -- esta se transforma en corriente directa gracias a un puente rectificador que permita almacenarla en un sistema químico convencional de batería de plomo ácido; posteriormente, mediante un inter-

La energía cinética del viento puede convertirse en energía mecánica rotacional en forma directa, cuando se extrae por medio de superficies que están en contacto directo con el viento, acopladas a motores mecánicos, o en forma indirecta, cuando interviene un elemento intermedio para su conversión. La energía mecánica rotacional puede ser a su vez convertida en energía eléctrica o térmica. Las aplicaciones de interés corresponden todas al aprovechamiento directo.

La turbina eólica (aeroturbina) constituye el principal elemento de los sistemas de aprovechamiento de energía, se encuentra constituida por un arreglo de aspas, soportadas por una torre, que gira al ser atravesadas por una masa de aire.

Existe una gran variedad de diseños de aeroturbinas, las cuales pueden agruparse en dos grandes conjuntos, los de eje horizontal y los de eje vertical, la diferencia principal se relaciona a la posición del eje respecto a la superficie terrestre.

- Las Aeroturbinas de Eje Horizontal.

(70) Gómez, Vázquez, Héctor., "Un Aerogenerador En Marcha. El Colibrí AXP"., Rev. ICyT. ed. CONACyT., Vol. 5, n° 82., México, Julio de 1983., p. 5

Las aeroturbinas de eje horizontal pueden tener una, dos, tres o más aspas. A mayor número de aspas corresponde una mayor superficie de contacto con el viento y el área barrida por las aspas de una aeroturbina se denomina "Solidez", cuanto mayor es la solidez, la aeroturbina tiene una menor velocidad de giro y una potencia de arranque mayor. Por otra parte las aeroturbinas con menor solidez capturan una mayor cantidad de energía por -- unidad de costo con vientos de alta velocidad⁽⁷¹⁾ (véase la -- ilustración 11).

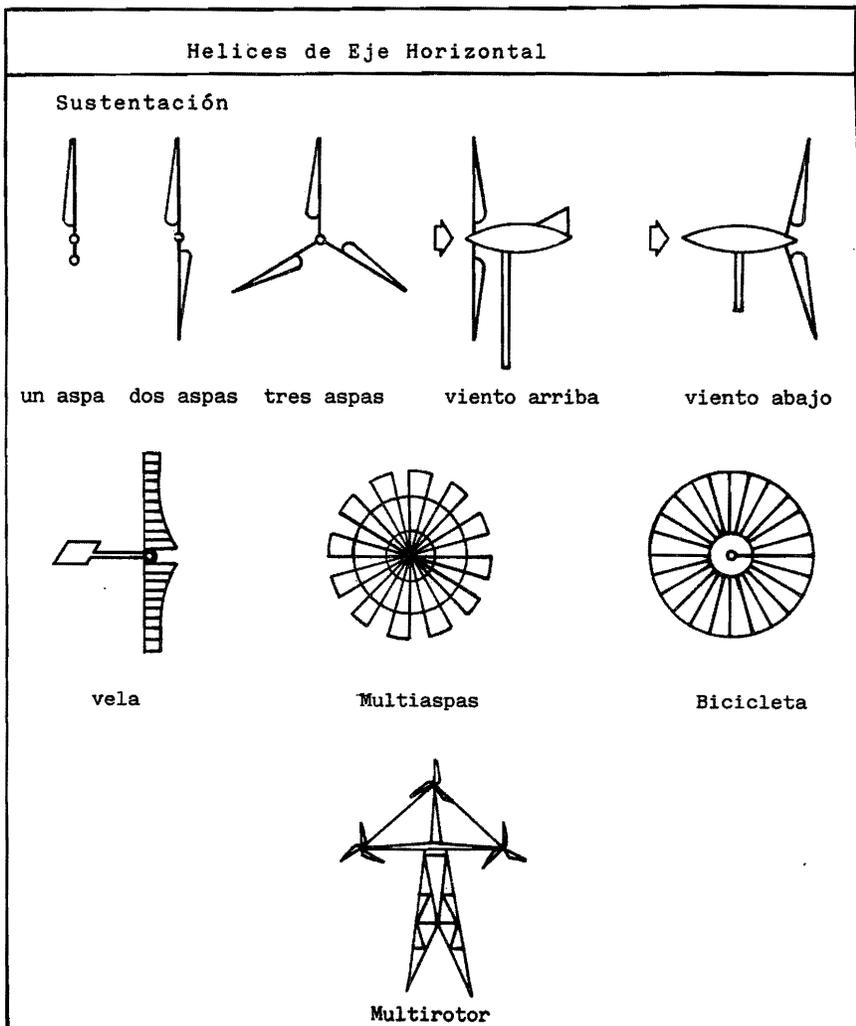
En las aeroturbinas de eje horizontal, las aspas pueden estar -- colocadas viento arriba o viento abajo de la torre que las so-- porta. Las aeroturbinas de baja potencia suelen emplear una con figuración de viento arriba, principalmente porque permite que non una simple veleta colocada en la parte posterior del vien-- to, manteniéndose así el área de barrido de las aspas siem-- pre perpendicular a la dirección del viento, maximizando la -- energía captada. La configuración del viento abajo es empleada por los aerogeneradores de gran tamaño, en los que la veleta no resulta práctica, requiriéndose normalmente de otros mecanismos para reorientar la turbina.

Las aeroturbinas de este tipo utilizan mecanismo automáticos de control que permiten girar todo el dispositivo dejando su eje --

(71) Hayes, D., "Energy: The Solar Prospect"., ed. Worwatch Paper-
Woldwatch. Institute. Washington, D. C. USA., 1977., p. 45.

Ilustración N° 11

Principales tipos de Helices de tipo Horizontal



Fuente: Concheiro y Viqueira, Op. Cit., p. 245.

de rotación perpendicular a la dirección del viento cuando este sopla a velocidades excesivas. Se emplean además otros mecanismos para controlar el ángulo de ataque de las aspas con el viento, logrando de esta manera que el motor de la aeroturbina gire a una velocidad constante.

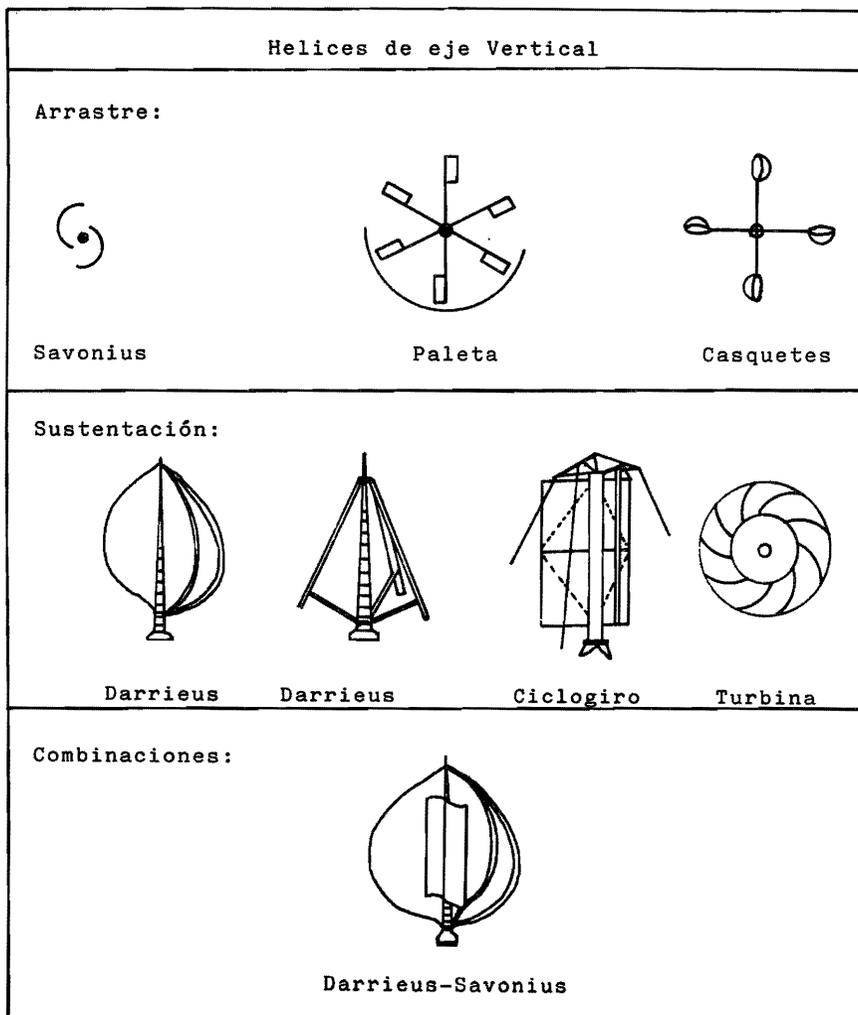
- Las Aeroturbinas de Eje Vertical.

Entre las aeroturbinas de eje vertical pueden distinguirse tres tipos importantes: Savonius, Darrieus y Ciclogiro. Las de menor eficiencia son las de rotor de tipo Savonius, que presentan una gran superficie de contacto al viento siendo por ello de baja velocidad, un rotor Savonius consta de dos mitades de un cilindro partido verticalmente de arriba hacia abajo, unidas de tal modo que, un corte horizontal cualquiera forme una especie de S (veáse la ilustración 12).

La aeroturbina de eje vertical más utilizada es la de rotor tipo Darrieus, cuyas aspas semejan las de una batidora; normalmente tiene dos o tres aspas soportadas en la parte superior e inferior de la flecha, cuya geometría forma una curva suave conocida con el nombre de "Troposkien", disminuyendo la forma de estas aspas, los problemas de pandeo. Estas turbinas necesitan una potencia adicional no eólica para iniciar su operación, lo que desde luego les representa una desventaja en cuanto la energía captada y transformada en electricidad.

Ilustración N° 12

Los Principales tipos de Helices de tipo Vertical



El tercer tipo de aeroturbinas de eje vertical de importancia es el ciclogiro; el cual es semejante al Darieus, con dos diferencias importantes respectivamente: Las aspas son rectas y, segundo, su orientación se modifica constantemente durante la rotación a fin de maximizar el par producido por el viento, requiriendo con ello un mecanismo de reorientación de las aspas. La potencia ya predicha para éste tipo de aeroturbinas es más alta que para cualquier otro.

Las aspas de las turbinas presentadas en párrafos anteriores -- tienen superficies aerodinámica y generalmente están hechas de acero, aluminio, madera, tela, plástico, fibra de vidrio o combinaciones de estos materiales. Actualmente se emplea principalmente aluminio o aleaciones de aluminio, en otras ocasiones madera y para algunos prototipos se ha utilizado tela, fibra de vidrio o plástico.

Los sistemas conversores de energía eólica en eléctrica suelen subdividirse en dos grupos:

- a) Pequeña escala, que proporcionan parte de la energía eléctrica utilizada en una casa o en determinado tipo de equipo.
- b) De gran escala, en que la energía extraída del viento es alimentada a una red eléctrica convencional, por lo que el sistema debe ser capaz de producir potencial compatible con la fase y frecuencia de la red.

3.4.3 La Investigación que sobre Energía Eólica se Realiza a Escala Mundial.

Por lo que se refiere a la generación de energía mecánica para el bombeo y almacenamiento de agua puede decirse que en la actualidad existen en operación aproximadamente 1 millón de aerobombas; la mayoría de ellas se emplean para proporcionar agua corriente y su distribución a casas u otras actividades, dicha utilización se ubica principalmente en Australia, Estados Unidos y Sudáfrica.

Este tipo de tecnología esta ya a la venta al público. Las principales empresas fabricantes de aerobombas son norteamericanas y --australianas, existen también pequeñas industrias en Nueva Zelandia, Filipinas, Sudáfrica, Alemania Federal y Francia. En Australia y Sudáfrica ya se ha establecido un amplio y sólido mercado --debido a que las aerobombas ya forman parte de la infraestructura de las granjas. El mercado de las aeroturbinas se inicia desde --principio de la presente década; sin embargo, el mercado de producción y construcción de las aerobombas aún permanece limitado a pocas regiones geográficas.

La generación de energía eléctrica en la que se emplean aerogeneradores pueden ser clasificados de acuerdo a su potencia de salida, según esta referencia se pueden considerar 4 tipos básicos: --Baja potencia, hasta 100 kilowatts; mediana potencia, de 100 a --200 kilowatts; media-alta potencia, de 200 a 1,000 kilowatts (es-

decir un MWe.) y alta potencia de 1 a 3 megawatts⁽⁷²⁾.

Los sistemas de baja potencia tienen un mercado muy disperso, -- aplicándose en comunidades rurales, en la agricultura y otra parte de las actividades productivas. Los sistemas de este tipo, inicialmente fueron utilizados entre los años de 1850 y 1930, mismos que fueron desplazados por las grandes compañías eléctricas. Los pequeños aerogeneradores que hoy se fabrican presentan variaciones significativas en sus diseños, pero pueden ser clasificados -- como aeroturbinas de eje horizontal de dos o tres aspas, con un -- número variable de revoluciones por minuto, que producen ya sea -- corriente directa y corriente alterna, tienen una eficiencia total del 30 al 40% (veáse la ilustración número 13).

Los generadores de potencias media, media-alta y alta, con el intervalo de 100 kilowatts a 3 megawatts, se empezaron a desarrollar a partir de 1975 pensando que se pudiesen interconectar a -- las redes de transmisión eléctrica ya existentes.

Actualmente están en operación algunos aerogeneradores de tamaño considerable. Suecia tienen una unidad de investigación de 63 kilowatts con una turbina de 18 m. de diámetro. Alemania posee una unidad de 100 kilowatts operando desde fines de la década de los setentas. Un grupo privado Danés tienen en operación el aerogene-

(72)

A. Concheiro y R. Viqueira., Op. Cit., p. 257.

Ilustración N° 13.

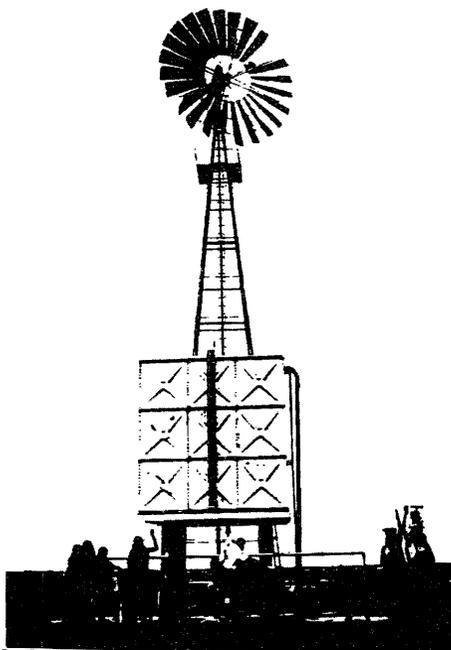


Foto Eric Schwab, Unesco

Los aerogeneradores de baja potencia, como el que se ilustra, - - tienen un amplio mercado, que se ubica sobre todo en comunidades rurales, aplicándose su uso básicamente a la producción de energía eléctrica. La ilustración muestra una turbina de eje horizontal tipo multiaspas.

Fuente: Revista El Correo de la UNESCO. julio de 1981., año XXXIV p. 25.

rador más grande del mundo, con una capacidad nominal de 2 megawatts y 54 m. de diámetro en las aspas⁽⁷³⁾.

En Estados Unidos el programa federal de Energía Eólica, que trabaja bajo auspicio de la National Science Foundation, desarrolló un prototipo denominado DOE-MOD-0 de 100 kilowatts y aspas de 30m de diámetro que se puso en operación en 1975 y que aún continúa trabajando en pruebas de duración. Otra unidad MOD-04 de 200 kilowatts de potencia y aspas de 40 m. de diámetro fue instalada en Clayton, Nuevo México. Las unidades MOD-1 (que tiene aspas de 40m de diámetro y capacidad de 2 megawatts) y MOD-2 (aspas de 90m de diámetro y son las primeras unidades de segunda y tercera generación que originalmente empezarían a operar en 1979 y que no se había logrado poner en práctica hasta el inicio de 1983 (véase la ilustración 14).

Puede afirmarse que, en general, los aerogeneradores de mediana y alta potencia son de tipo propela de eje horizontal, aunque se investigan también los de tipo Darrieus como sistemas alternativos.

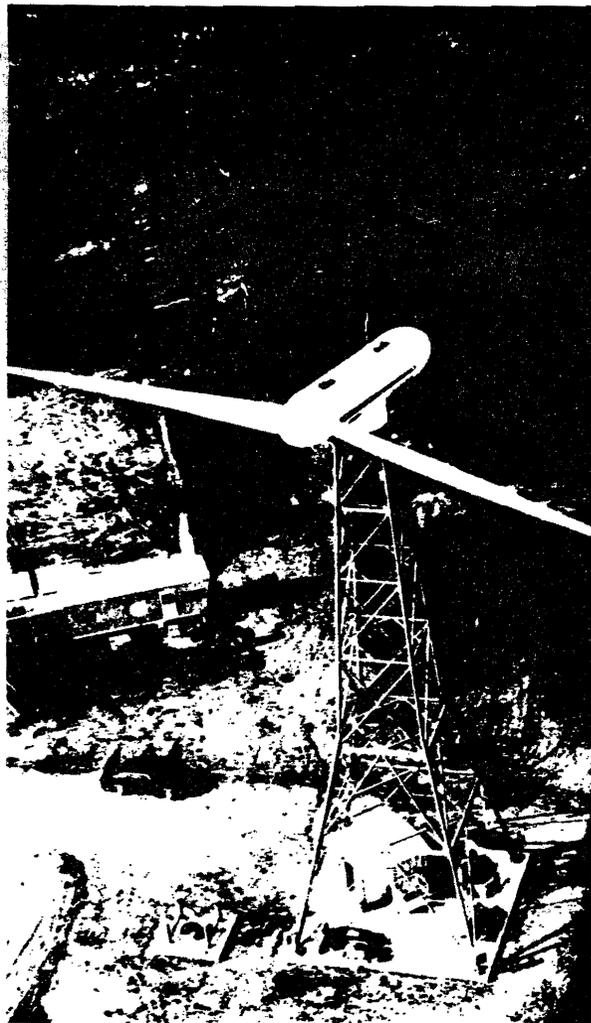
La experiencia de operación a control remoto del MOD-04, que ha adquirido la compañía eléctrica de Clayton en 1978, indica que sí es posible operar y sincronizar aerogeneradores a la red eléctrica.

(73)

Ibidem., p. 264.

Ilustración N° 14.

Foto © NASA, Washington, D.C.



Prototipo de generador eólico de alta potencia (1 a 3 megawatts), el que aquí se ilustra fue construido en las costas de las Islas-Canal en Dinamarca.

Fuente: Revista El Correo de la UNESCO. julio de 1981, año XXXIV,

ca en forma automática. Las eficiencias obtenidas con los sistemas actuales en operación son de un 40%, comparadas con el máximo teórico de 59%.

Por lo que se refiere a las actividades de investigación y desarrollo de la energía eólica, los países que tienen proyectos de desarrollo más ambiciosos son: Alemania, Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, Holanda, Gran Bretaña, Suecia y la Unión Soviética; los cuales cuentan con amplios programas gubernamentales para el aprovechamiento de la energía eólica, la mayoría están enfocados a la generación de electricidad en gran escala⁽⁷⁴⁾. Entre las principales actividades de estos programas destacan: el diseño, construcción y operación de, al menos, un prototipo de aerogenerador de mediano o gran tamaño; la determinación de investigar el potencial eólico del país de que se trate; la factibilidad técnica y económica de la generación a gran escala y de interconexión con las redes de distribución de energía eléctrica; la investigación teórica sobre aerodinámica; el estudio de materiales para la construcción de las aspas de aeroturbinas; estudios sobre el comportamiento de los prototipos y el desarrollo de sistemas de acoplamiento entre la aeroturbina y el generador.

Por lo que se refiere al desarrollo de multisistemas de gran potencia, solo Estados Unidos y la Unión Soviética tienen actividades -

(74) Ibid., p. 265-266.

de investigación y desarrollo.

La mayoría de los prototipos de mediano y gran tamaño construidos o en proceso de construcción son de eje horizontal; sin embargo, se explora, aunque no intensamente, la posibilidad de desarrollar prototipos de eje vertical tipo Darrieus.

Los programas más ambiciosos han surgido en los Estados Unidos y la Unión Soviética, y ambos países plantean el uso masivo de éste tipo de aerogeneradores a partir de 1990. En los Estados Unidos, pueden ya adquirirse, bajo pedido, aerogeneradores de mediano y gran tamaño. Por su parte la Unión Soviética plantea tener en operación en 1990 una red de 15,000 unidades de 300 kilowatts cada una, para obtener una capacidad total instalada de 4,500 megawatts.

3.4.4 El Potencial Eoloenergético y su Nivel de Aprovechamiento en la República Mexicana.

Las investigaciones que sobre la capacidad del viento para producir energía, que se han realizado en Mexico, son escasas, puede decirse que casi nulas, ya que al inicio de la conformación del Servicio Meteorológico Nacional las estaciones meteorológicas que se ubicaron a lo largo de casi toda la superficie del país no consideraron la posibilidad de interrelacionar la fuerza del viento con su potencial cinético y la producción de energía; por lo tanto, la información que en este momento se puede obtener de dichas estaciones no es conveniente para pretender llevar a cabo una evaluación de la potencialidad de dicho recurso.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas del IPN, en conjunción con el Observatorio Meteorológico Nacional ha trabajado en la preparación de un Atlas Eólico Nacional; el Atlas, que ya ha sido -- elaborado, permite conocer los parámetros fundamentales del viento en un lugar con bastante precisión. La intención principal de dicho trabajo consiste en proporcionar una idea general de las regiones del país que cuenten con buen potencial, tomando como base dicha información, será posible llevar a cabo una evaluación más concreta del recurso, además de proporcionar el reconocimiento de una regionalización del mismo.

Según E. Caldera⁽⁷⁵⁾, investigador del mencionado instituto y con
(75) A. Concheiro y R. Viqueira, Op. cit. p. 235-236.

base en estudios previos que establecen una metodología para el procesamiento y análisis de esta información, así mismo el trabajo de caracterización y evaluación energético-eólico realizados por el Instituto de Investigaciones Eléctricas en diversos puntos del territorio nacional, se puede adelantar tentativamente una regionalización del país en zonas con características de vientos similares y propone el siguiente cuadro:

Descripción regional de las principales zonas de potencial eólico-energético de la República Mexicana en orden de importancia.

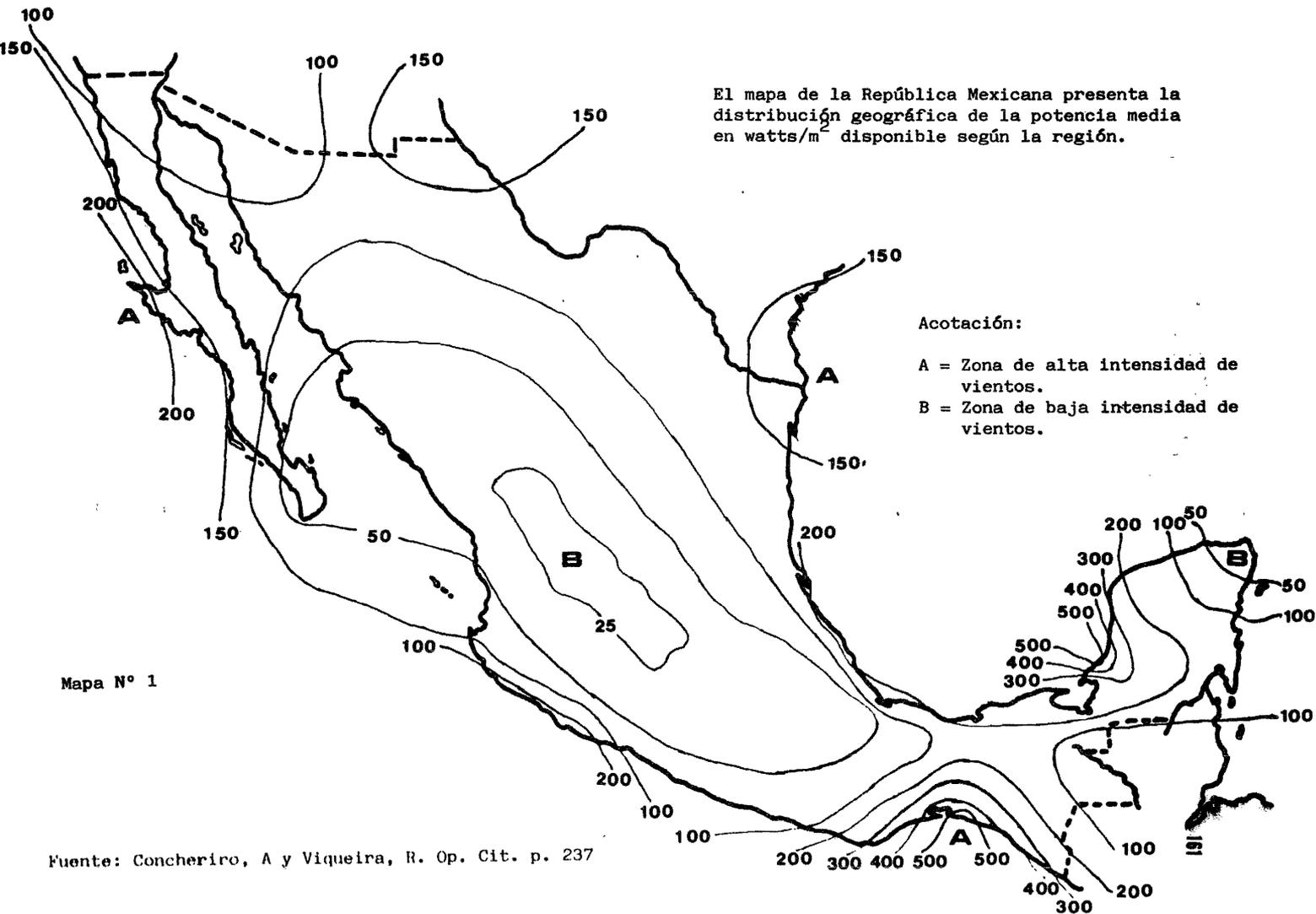
REGION	DESCRIPCION GEOGRAFICA
1	Baja California Norte.
2	Baja California Sur.
3	Región Costera de Sonora, Sinaloa, Nayarit y Jalisco.
4	Región Costera de Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca.
5	Región Sur del Istmo de Tehuantepec.
6	Península de Yucatán.
7	Costa del Golfo de México, comprendida entre los Estados de: Tamaulipas, Veracruz y Tabasco.
8	La Sierra Madre Oriental.
9	El Altiplano Central (Edo. de México, Hidalgo, Querétaro y Guanajuato).
10	Sierra Madre Occidental.
11	Altiplano Septentrional.

Los sistemas regionales más importantes son: La región sur del -- Istmo de Tehuantepec, con velocidades promedio del viento de 6.5- y 7 m/seg.; la península de Baja California; las costas de Oaxaca Guerrero y Michoacán en donde las relaciones térmicas efectuadas- entre el océano y la breve llanura Costera produce vientos que al- canza velocidades de entre 13 y 15 m/seg. y la otra región es el- Altiplano Central (véase el mapa No. 1).

Una idea de relacionar la velocidad del viento con su posibilidad de generación de energía lo constituye el mapa N° 1. Para el caso específico de la generación de energía eléctrica, por medio de -- aerogeneradores, el aprovechamiento de la energía eólica en Méxi- co se limita a la construcción de aerobombas de eje horizontal -- con aspas múltiples, instaladas en localidades rurales del norte- y sureste del país.⁽⁷⁶⁾ Se desconoce su comportamiento. Existe so- lo un fabricante de aerobombas (Molinos de Viento, S.A.), que pro- duce comercialmente dos modelos que actualmente se encuentra en - fase experimental.

En cuanto a las actividades de investigación y desarrollo de los- recursos eólicos en México solo tres instituciones y una Asocia-- ción civil realizan proyectos de este tipo, cuyo trabajo princi-- pal esta orientado al diseño y construcción de pequeños sistemas-

(76) Castellanos, A. y Escobedo, M., "La Energía Solar en México;- Situación Actual y Perspectivas". Ed. Centro de Ecodesarrollo México., junio de 1980., p. 101.



convertidores, los que en la mayoría de los casos son solo adaptaciones y rediseños de sistemas convertidores que ya se encuentran disponibles comercialmente.

Las instituciones que trabajan en esta área son: El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) del I.P.N.; la unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana, la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del IPN, y el grupo del Sol, S.C. La cantidad de recursos humanos y económicos dedicados a estas actividades son muy pequeños. El número de investigadores se estima fue de 4 para 1981, y en la actualidad dadas las condiciones económicas del país dicha cantidad se mantiene estable.

El programa de desarrollo de sistemas convertidores de energía eólica del Instituto de Investigaciones Eléctricas se inició en 1977 con el diseño y construcción de pequeñas unidades orientadas a su aplicación en el medio rural. Los trabajos se enfocaron inicialmente al diseño de equipos desarrollados en otros países, intentando adecuarlos a la disponibilidad de materiales y habilidades técnicas y artesanales de nuestro país.

Actualmente se encuentra en proceso de construcción un prototipo de aerobomba mecánica con las siguientes características: Eje horizontal, viento arriba, de 10 m. de diámetro y orientación por medio de un timón de cola; tres aspas-vela de aluminio extraído y

tela de nylon; transmisión biela/manivela con variador de desplazamiento accionado por la presión del viento sobre el rotor; bomba reciprocante de doble efecto, con fugas controladas para facilitar el arranque con vientos ligeros. Esta aerobomba se colocará a una altura de 10m. con una velocidad nominal de operación de 5m/seg., una potencia esperada de 1.3 kilowatts a 5 m/seg. y proporcionará un gasto de agua de aproximadamente $15.7 \text{ m}^3/\text{hora}$ para 30.5 m. de elevación.

Con las dos unidades de este prototipo que se piensa instalar en San Rafael, San Luis Potosí, el volúmen de agua bombeado será -- aproximadamente de $130 \text{ m}^3/\text{día}$, considerando que se cuenta con 4 -- horas diarias de viento iguales o mayores de 5 m/seg. y que la -- profundidad del agua es de 30 m. Esta cantidad de agua puede cu-- brir las necesidades de riego de 2 has. y además alimentar los -- abrevaderos para 500 reses.

En lo referente a la conversión de energía eólica en eléctrica, - el Instituto de Investigaciones Eléctricas desarrolló la estación eoloenergética el Gavillero, que cuenta con dos aerogeneradores - "Dumlite", con capacidad de 2 kilowatts a 5 m/seg., de fabrica-- ción estadounidense, para proporcionar energía eléctrica a esta - comunidad. Por problemas de diversas índole no se ha podido ali-- mentar la red local de distribución con los aerogeneradores. El - Instituto de Investigaciones Eléctricas efectuó ya una estimación del potencial eólico de el Gavillero y, de acuerdo con los estu-- dios de simulación la cantidad de energía eléctrica que podrá ge-

nerarse será de 6590 kilowatts/año, potencial que puede satisfacer las demandas de energía eléctrica de 15 familias.

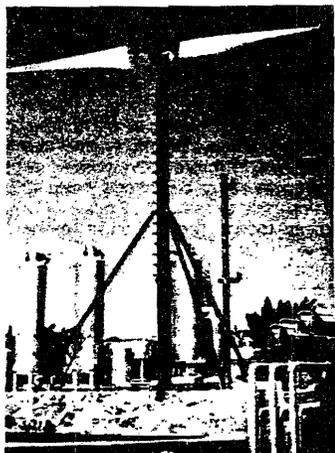
La Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN es ta realizando pruebas aerodinámicas en tunel de viento con un rotor tipo Savonius y estudios aerodinámicos de una aspa para su - - aplicación a molino de viento.

La Unidad Azcapotzalco de la UAM trabaja en el diseño, construcción y evaluación de dos prototipos para el aprovechamiento de la energía eólica, con miras a su integración en sistemas no convencionales auto-suficientes.

Por último, el Grupo Fuerza, S.C. trabaja en el diseño y construcción de un aerogenerador de 2.5 kwe. (véase la ilustración 15).

Ilustración N° 15

Los módulos de aerogeneradores que se ilustran, representan sólo - algunos de los que se encuentran disponibles comercialmente en la República Mexicana.



Aerogenerador Eolo-II de 4.5 kW
(I.T. de La Paz)



Aerogenerador "Albatros"
de 10 kW (IIE)



3.5 Conclusiones del Capítulo.

La energía eléctrica que proviene de las olas marinas puede ser una realidad para el consumo de las diversas actividades humanas, los procesos tecnológicos aplicados a su aprovechamiento se encuentran aún en la fase experimental; por lo tanto, puede decirse su aprovechamiento será una cuestión eminentemente regional y que en términos generales la aportación que haga este recurso al potencial energético mundial sea poco significativa.

La energía térmica de los océanos en cuanto al potencial que contiene en relación a la posibilidad de su aprovechamiento puede decirse que es muy grande, por ello la suma hipotética de 180 billones de kilowatts que se pueden producir, solo en la Corriente del Golfo, corresponde al terreno de lo inaccesible, ya que la tecnología actual para hacer efectivo su aprovechamiento, lo mismo que en el caso de la energía procedente de las olas marinas se encuentran en una fase experimental y por lo tanto, la posibilidad de su uso, aún es nula.

Al considerar la posibilidad de aprovechamiento del recurso, sería importante valorar las implicaciones de carácter ecológico que conlleva dicha actividad, es conveniente recordar que los sistemas OTEC, diseñados para este aprovechamiento, tendrían que construirse y ponerse en práctica en una extensión geográfica bastante amplia con la posibilidad, quizá, de modificar sustantiva-

mente los movimientos convectivos de las aguas marinas donde se -
instalan, además de alterar sensiblemente los ecosistemas superfi-
ciales y profundos de los fondos marinos; bueno, sin necesariamen-
te considerar como conclusión exclusivamente el impacto negativo-
al medio es conveniente tomar en cuenta que éstos procesos tam- -
bién pueden enriquecer las aguas superficiales de mares y océanos
con la formación de surgencias que puedan enriquecer con los nu-
trientes del fondo del mar las aguas oceánicas superficiales.

Como ya se ha mencionado, la posibilidad de emplear la energía de
rivada de procedimientos que impliquen el aprovechamiento de las-
diferencias térmicas que en un esquema vertical contienen océanos
y mares, así como de extensas zonas litorales en cuanto al uso --
del oleaje marino corresponde aún a procesos de carácter experi--
mental.

El uso de la energía eléctrica producida a partir del aprovecha--
miento de las mareas es una realidad que ya se manifiesta en pa--
íses como Francia y la URSS, en donde la tecnología empleada para
aprovechar este recurso se ha desarrollado de manera paulatina.

El uso de este recurso no implica, a diferencia de otros más so--
fisticados, como la energía solar usada directamente, de una com-
plicada tecnología, ya que por lo regular las turbinas que se - -
emplean en la producción de electricidad son del mismo tipo que-
los que utilizan las corrientes hidrológicas superficiales.

Pese a lo anterior, no existen en nuestro país, ni aún a nivel experimental, centrales de este tipo, por lo que la idea de que éste recurso tomado desde la perspectiva de su apropiación energética es lejano. Sin embargo, no hay que olvidar que este tipo de -- tecnologías, actúan en un medio en donde los ecosistemas contienen una dinámica bastante compleja y el retener o desalojar las aguas fuera de sus ciclos normales en estas bahías o estuarios, representa una problemática que es conveniente meditar al planear la construcción de centrales de éste tipo; e incluso, lleguen a destruir ecosistemas marinos en donde la productividad biológica de otro -- tipo de recursos sea más importante.

El aprovechar el viento como productor de energía eléctrica o mécanica en algunos países, como como la URSS, EUA, Japón o Australia, son los que llevan el liderazgo en la investigación y uso de este tipo de recurso y su estrategia de investigación está centrada en los grandes sistemas eoloenergéticos, con potencia superior a un megawatt de energía producida. Los países con una incipiente industrialización y con problemas económicos y tecnológicos llevan a cabo programas que impliquen la puesta en práctica de centrales con capacidad entre 100 y 500 kilowatts.

Para el caso específico de México el aprovechamiento que hace de éste recurso es bajo, ya que los proyectos que se están realizando en materia de investigación (en cuanto a la aplicación de los -- modelos teóricos) que sustentan el uso de este recurso es poco --

subsidiado, y por lo tanto, desdeñado. México tiene principalmente proyectos de investigación que implican la construcción de aerobombas de eje vertical con aspas múltiples, y como ya se ha mencionado estas actividades de investigación se llevan a cabo tanto en instituciones públicas y privadas, estas últimas son las más tenaces en lo que se refiere a su comercialización.

Nuestro país no tiene dentro de sus proyectos de investigación -- tecnológica el uso de sistemas generadores de alta potencia, estos están reservados a los países con abundantes recursos materiales y humanos.

En cuanto a la posibilidad de que los recursos energéticos generados por la fuerza del viento lleguen a proporcionar abundancia de electricidad o que vayan a sustituir a otras fuentes energéticas es remota, ya que estos, sobre todo en nuestro país están en una etapa experimental y en caso de que se pudiesen usar, su uso representará menos del 1 % del potencial de energía que México tendrá al finalizar el siglo. Por lo que respecta a la implicación ecológica de este recurso puede decirse que, aún aparentemente -- los sistemas conversores de energía eólica son tecnologías limpias, pueden crear disturbios ambientales en la zona donde se instalan, a continuación se mencionan algunos de ellos:

-- Los grandes sistemas llegan a interferir las señales de alta frecuencia como las de televisión, radio o comunicación inalám-

brica, cuando la aeroturbina está localizada entre el transmisor y el receptor. Estas interferencias ocurren debido a que la señal transmitida es reflejada en las aspas de la aeroturbina interactuando con la señal original, creando fluctuaciones en su amplitud y frecuencia, ocurren alrededor de la aeroturbina en un área de 400 m. de diámetro para señales de ultrafrecuencia.

- El ruido que producen los aerogeneradores al operar (ruido audible y ruido infrasónico), puede causar disturbios en la vida natural del lugar e interferir en las actividades cotidianas. Los niveles del ruido y su impacto ambiental no han sido aún cuantificados adecuadamente.
- Así mismo, puede colisiones de aves contra la torre y la aeroturbina, particularmente si el sistema conversor esta instalado en una zona con grandes poblaciones de aves o en el trayecto de aves migratorias. El vuelo nocturno de los pájaros puede ser perturbado o bien estos ser atraídos por las luces de las partes altas de la estructura, incrementando así las posibilidades de choque.
- Finalmente puede producirse un rechazo social hacia las aeroturbinas particularmente hacia los grandes sistemas, por considerarse que son poco estéticos y perturban un paisaje apreciado localmente. El impacto visual de la aeroturbina depende de su

tamaño, del carácter del paisaje y de su visibilidad desde las-
áreas de actividad humana.

CAPITULO 4. LOS TIPOS DE ENERGIA NUCLEAR Y LA GEOTERMIA.

Introducción.

El presente capítulo, como su nombre lo indica, aglutina dos grandes temas, el primero, el referido a la obtención de energía derivada de procesos nucleares, y el otro al uso de las fuentes internas de calor terrestre o geotérmica, con el mismo fin, en este momento quizá habría que preguntar, bueno, por que aglutinar temas que se pueden considerar un tanto diferentes; un argumento que pudiese aclarar el anterior cuestionamiento esta dado en el sentido en que tanto que los elementos radiactivos naturales, lo mismo el calor latente que se encuentra al interior de nuestro planeta, parecen tener un mismo origen. La respuesta dada por los especialistas en cuestiones energéticas, ⁽⁷⁷⁾⁽⁷⁸⁾⁽⁷⁹⁾ evidencian que estos fenómenos naturales son considerados como reminiscencias de los -- tiempos cosmogónicos por los que paso la Tierra antes de conformar su estado actual; por lo tanto, los comentarios vertidos por estos autores, han permitido obtener criterios para incluir, en cuanto a contenido, la realización de ésta parte del trabajo.

(77) Foley, Gerald y Nassim, Charlotte. La Cuestión Energética. -- Ed. Del Serval., Barcelona, España., 1981., p. 200.

(78) Zazic, Z. Op. cit. p. 22.

(79) Hubbert, M.K., Op. cit. p. 37.

La elaboración del capítulo contiene en cuanto a estructura la -- misma organización que han conformado los antecedentes, por ello -- en los tres temas que integran esta parte y que son: La fisión nu -- clear, la fusión nuclear y la energía geotérmica, encontraremos -- una primera parte que hace referencia a breves antecedentes histó -- ricos en el uso de este tipo de energías; otra siguiente refiere -- las perspectivas de su uso y desarrollo, contextualizando su uso -- y potencialidad de aprovechamiento a nivel mundial; la siguiente -- parte ubica a la República Mexicana en cuanto a su uso y conside -- ra la posibilidad de ampliación de su aprovechamiento a mediano -- y largo plazo. Por último como parte constitutiva de la conforma -- ción del capítulo y como un apartado específico están las conclu -- siones, en esta parte se ha recopilado bajo la perspectiva de su -- aprovechamiento, así como el impacto que ha tenido la puesta en -- práctica de estas tecnologías dentro del espacio geográfico en el -- que se desarrolla la humanidad en lo general, y la sociedad mexi -- cana en lo particular; además de mesurar el impacto que tienen la -- aplicación de estas tecnologías en el habitat humano y en el de -- las demás especies vegetales y animales.

Se ha pretendido en este capítulo, lo mismo que en los anteriores -- el organizar el contenido con coherencia y objetividad, para la -- realización del mismo se ha tenido que recurrir a fuentes diver -- sas de información, que van, desde libros especializados en el te -- ma, hasta el reportaje periodístico cotidiano, sobre todo con -- aquellos temas que son objeto de una fuerte polémica social, como

es el caso del uso de la fisión nuclear aplicada a la obtención de energía eléctrica. Por lo anteriormente expuesto se espera que se haya alcanzado el objetivo trazado cuando se inicio la elaboración de éste escrito.

4.1 LA FISION NUCLEAR.

4.1.1 Antecedentes Históricos.

El conocimiento de la energía nuclear y de los minerales que emiten radiaciones es relativamente reciente, tomando esto desde la perspectiva histórica del uso de otras fuentes de energía no convencional. Hace aproximadamente un siglo que H. Becquerel de manera incidental descubrió que los minerales uraníferos poseían propiedades radiactivas. Durante los trabajos que realizaba en 1896, dejó un trozo de mineral de uranio sobre una placa fotográfica. Al revelar las placas encontró que estas habían sido mayormente oscurecidas en la parte donde se había colocado el mineral.

Deducciones y experimentaciones posteriores, realizadas por el propio Becquerel, proporcionaban indicadores de que esa carga positiva podría estar relacionada al núcleo de los átomos radiactivos, en donde supuestamente residía la actividad de emisión de partículas subatómicas que se observaba en varios elementos como el Uranio, Torio, Polonio y el Radio, éstos últimos descubiertos y aislados por los esposos Pierre y María Curie.

Las investigaciones efectuadas por los físicos y químicos de esta época y complementada por los trabajos sobre la emisión de radiación de los elementos transuránicos hasta 1932, conforman el conocimiento de la estructura del átomo y de las partículas subatómi-

cas conocidas hasta esa fecha. Sin embargo, éste mismo año se descubrió una partícula de masa atómica semejante a la del protón, pero sin carga eléctrica, siendo denominado neutrón por su descubridor el físico inglés J. Chadwick, completado así el esquema del átomo que se tenía en la década de los años treintas.

El descubrimiento del neutrón provocó nuevos experimentos en diversos laboratorios del mundo, de ellos destaca uno en especial: al de bombardear elementos químicos con esta nueva partícula. E. Fermi, físico italiano, también realizó los mismos experimentos, encontró que en especial al chocar el neutrón con un átomo inestable como el uranio, se producían altas dosis de radiación, detectándose además la aparición de otro tipo de átomos, como el Bario y el Iodo, cuya presencia al inicio de estas investigaciones era muy difícil de poder explicar.

Posteriormente en el Instituto Kaiser Wilhelm, de Berlín, otros dos químicos alemanes, Otto Hann y Fritz Strassman, insistieron sobre el mismo experimento demostrando con claridad que el bombardeo del Uranio con neutrones producía Bario y Iodo, entre otros átomos, lo que indicaba que el núcleo del átomo se rompía o fisionaba provocando la liberación de energía, la que ya no se utilizaba para mantener dos núcleos positivos unidos, el Bario y Iodo para constituir el Uranio, la energía necesaria para vencer la repulsión eléctrica entre ellos, quedaba ahora en libertad. El anterior proceso, desde una perspectiva cuantitativa, implicaba la

liberación de energía varios millones de veces más grande que la energía generada por la más violenta de las reacciones químicas. aunado a esto, pronto se descubrió que también se liberaban neutrones al romperse el núcleo del uranio; además, se encontró - que los neutrones liberados se emitían con velocidades altas y -- por lo tanto para continuar la fisión, era necesario frenar su velocidad.

El problema se redujó entonces a encontrar un procedimiento que permitiera frenar a los neutrones producto de la fisión, para así continuar con la reacción. Se encontraron diversas maneras para - hacerlo: En Francia, Joliot Curie decidió para ello utilizar el - agua pesada (agua con abundancia del isótopo pesado del Hidróge--no, el Deuterio), la cual en estos años se producía en la única - planta existente en el mundo, ubicada en Norks, Noruega. El otro procedimiento es dirigido por E. Fermi en la Universidad de Colomubia, U.S.A., y es aquí en donde se iniciaron los trabajos para demostrar la posibilidad de una reacción en cadena, utilizando Gráufita para frenar los neutrones emitidos de las reacciones de fi--sión. El grupo ubicado en Estados Unidos continua trabajando cuando irrumpe la Segunda Guerra Mundial, y el grupo francés coordinado por Joliot se traslada a Canadá a continuar las investigacio--nes.

Los dos grupos iniciarón trabajos de investigación nuclear. En Canadá se utilizará uranio y agua pesada. En los Estados Unidos se-

trabajará con un reactor nuclear que emplearía el gráfito como moderador, y como combustible uranio enriquecido. Los primeros en lograr mantener una reacción en cadena dentro de un reactor fueron los investigadores norteamericanos.

El reactor de Hanford empezó a operar en 1934. Por su parte los soviéticos se concentraron principalmente en los reactores de agua pesada; también los alemanes al no poder obtener gráfito de suficiente pureza, decidieron utilizar el agua pesada proveniente de la planta noruega recientemente capturada.

Una vez que el reactor de Hanford entró en operación, el siguiente paso fue el poder contar con suficiente Uranio 235 para construir un explosivo nuclear. En éste momento es necesario mencionar qué, en los reactores nucleares los neutrones bombardeados no solamente producen fisión, sino que, también pueden ser absorbidos por el uranio para constituir un elemento que no existe en la naturaleza; el Plutonio, el que al igual que el Uranio, podría ser fisionado por los neutrones, por lo que también representaba un elemento que podrá obtenerse para la preparación de bombas nucleares.

En la madrugada del 16 de julio de 1945, en el desierto de Nuevo-México, Estados Unidos, la primera bomba atómica de carácter experimental fue detonada.

El 6 de agosto de 1945, una segunda bomba manufacturada con uranio 235 se hizo estallar sobre la ciudad japonesa de Hiróshima, - la bomba contenía varios kilogramos de material fisiónable; al es tallar la fisión de sólo un kilogramo de Uranio 235 fue suficiente para producir los siguientes resultados: 78,000 muertos 84,000 heridos y varios miles de desaparecidos, la ciudad, quedó prácticamente destruida. Tres días más tarde, otra bomba manufacturada con plutonio hizo explosión sobre la ciudad de Nagasaki.⁽⁸⁰⁾ La guerra con Japón llegó a su fin y la otra cara mostrada por el poder de la energía nuclear había sido demostrada y como consecuencia de ello se iniciaba la llamada Era Atómica.

Desde el punto de vista de aprovechamiento de la energía contenida en los átomos para la generación de energía eléctrica, la primera central comercial del mundo entró en funcionamiento en Calder Hall, Gran Bretaña, en 1956; esta estación producía 50 megawatts de electricidad. Desde entonces el número de centrales átomo-eléctricas ha aumentado constantemente; puede decirse que, las plantas construidas son de tres tipos básicos: Los reactores moderados con agua pesada, los reactores moderados con gráfita y por último los reactores reproductores o reactores de cría.

Paralelamente a este proceso de obtención de Plutonio para fabricar armas nucleares, así como para su adecuación para la generación de energía eléctrica y otros fines, tenemos que, la historia

(80) Costa Alonso, Dalmau., "Hacia una Industria Nuclear Integrada" ed. ICAP. PRI. México, 1982., p. 82.

del uso de estas fuentes energéticas viene aparejada con la explotación del mineral de uranio como elemento básico para la obtención del uranio y otros elementos radiactivos.

Haciendo un breve resumen acerca de la explotación del mineral de uranio, los autores Foley y Nassim comentan lo siguiente:

"La minería del uranio comenzó en Canadá en 1942, en respuesta al programa militar de los Estados Unidos y la Gran Bretaña. Una vez que el programa llegó a su fin se produjo el hundimiento total -- del mercado y la explotación del uranio se redujó prácticamente a cero en Canadá entre 1956 y 1966. Entre 1966 se registró un breve período de actividad para declinar posteriormente. Desde 1974 comenzó a intensificarse nuevamente la explotación, descubriéndose abundantes recursos recuperables; los que, debido a nuevas técnicas extractivas, así como a precios más altos, pudieron incrementar el volumen de las reservas accesibles, lo que volvería rentable la minería de los depósitos de baja calidad⁽⁸¹⁾.

(81) Foley, op.cit., p. 171.

4.1.2 El Proceso de Fisión Nuclear.

La fisión nuclear consiste en el rompimiento de un núcleo pesado cuando éste absorbe un neutrón. Los fragmentos de la fisión son dos o más núcleos medianos, además de uno o varios neutrones, así como la emisión de energía en forma de radiación (rayos gamma).

La reacción de fisión puede mantenerse continuamente mediante el aprovechamiento de uno de los neutrones de la fisión para producir otras fisiones o bien otros isótopos que al decaer se convierten en núcleos fisionables. Este proceso se denomina "Reacción en Cadena" y constituye el principio de funcionamiento de los reactores nucleares (82).

El núcleo atómico está constituido básicamente por dos tipos de partículas: Los protones y los neutrones, adheridos entre sí por la llamada interacción fuerte o nuclear. La intensidad de las fuerzas nucleares es tan grande que mantienen a los protones y neutrones en el interior de una muy alta densidad. El tamaño del núcleo atómico es del orden de una billonesima de centímetro. Las propiedades por el número de protones contenidos en el núcleo; estos tienen carga eléctrica positiva de manera que se hacen rodear de un número idéntico de electrones con carga eléctrica negativa.

(82) Fortes, Mauricio. "El Origen de la Energía". Rev. ICyT. Vol. 5 N° 82, ed. CONACyT., México., Julio de 1983, p. 11-15.

Existen núcleos atómicos que poseen el mismo número de protones, pero una cantidad diferente de neutrones. Dado que las propiedades químicas de un átomo están dadas por el número de electrones, y que por lo tanto, por el mismo número de protones, estos núcleos diferentes son químicamente idénticos. Se conocen con el nombre de isótopos; es decir, poseen el mismo número atómico (la cantidad total del número de neutrones); como ejemplo de esto, podemos decir que el Hidrógeno posee dos isótopos naturales: El Hidrógeno normal (^1H) y el Deuterio (^2H); químicamente son idénticos, pero el Deuterio pesa el doble que el Hidrógeno.

El Uranio posee tres isótopos naturales: El Uranio 238 con 92 protones y 146 neutrones; el Uranio 235 con 92 protones y 143 neutrones; el Uranio 234 con 92 protones y 142 neutrones. La mayoría de éstos elementos aparecen bajo un cierto número de formas alotrópicas.

El único elemento fisiónable que se encuentra en cantidades apreciables en la naturaleza es el uranio 235, este representa el 0.7 por ciento del mineral, siendo la mayor parte Uranio 238 el cual en condiciones naturales no es fisiónable. La separación de isótopos del uranio, también llamado proceso de enriquecimiento del uranio, requiere de procesos con tecnologías complejas, puesto que los isótopos no se distinguen desde el punto de vista químico.

En realidad el uranio es un elemento común. Se le puede encontrar en bajas concentraciones en el agua del mar y en las rocas ígneas de tipo granítico, aumenta de concentración en el Pechblenda Ferrroso y como componente de diferentes tipos de pizarras; también aparece en distintas aglomeraciones de roca en depósitos sedimentarios.

El descubrimiento de la fisión nuclear fue uno de los resultados obtenidos al intentar producir elementos como número atómico superior al 92 (el cual es el Uranio), mediante el bombardeo con neutrones. Se esperaba que estos se combinarán con el núcleo bombardeado para producir núcleos con el mismo número atómico, pero con una masa atómica superior.

Como consecuencia de este descubrimiento se procedió a realizar investigaciones para encontrar la manera por la cual se pudiese producir nuevos elementos, o en su caso, encontrar la forma por la cual se controlase la fisión nuclear; por ello, se puede decir que en una central nuclear los átomos de uranio, un elemento radiactivo, son ligeros y emiten partículas subatómicas. Como consecuencia de esto si se sumaran los productos de esta desintegración, no se obtendría la masa original del átomo que desapareció, una parte de esta ha sido transformada en energía, bajo la idea de "emanaciones" o rayos emitidos por las sustancias radiactivas: Los rayos Alfa, Beta y Gamma. Investigaciones posteriores demostraron que esto eran intrínsecamente diferentes y que no merecían

el denominador común de rayo⁽⁸³⁾.

Una cuestión importante es la que se refiere a la utilización del Uranio en cualquier central de producción de energía nuclear, se requiere que el Uranio, que es el principal combustible, se incluya en el funcionamiento de un reactor. Por ello es necesario conocer el ciclo del combustible nuclear.

Actualmente existen dos tipos de ciclo de combustible: el ciclo del llamado uranio natural, donde el concentrado de uranio se refina y es convertido en Dioxido de Uranio (UO_2), y el llamado ciclo del uranio enriquecido, en donde el concentrado, además de pasar por la fase de refinación, es convertido a Hexafluoruro de Uranio (UF_6) para de allí ser enriquecido en Uranio 235, y finalmente reconvertido a Dióxido de Uranio (UO_2)⁽⁸⁴⁾.

El primer paso de ambos ciclos es la prospección y extracción del Uranio. Se utilizan las técnicas corrientes de la minería: prospección, explotación, exploración, molienda, lixiviación y beneficio. Aquí se separan los procesos. Para el Uranio natural el segundo paso es la obtención del Dióxido de Uranio (UO_2).

(83) Foley y Nassim. Op. cit., p. 149.

(84) Riverón Ogazón, Silvia., "El Ciclo del Combustible Nuclear". Rev. Energía: Del Fuego al Atomo; año 5, N° 48., México, - - 1983. p.

Para el ciclo del Uranio enriquecido son necesarios tres pasos -- más: la conversión a Hexafluoruro de Uranio (UF_6), que incluye la refinación y conversión a través de procedimientos químicos. Le sigue el enriquecimiento, que es el paso más importante. Esta -- tecnología es considerada como estratégica y está restringida por los grandes monopolios internacionales dentro del mercado mundial. Existen dos métodos principales para enriquecer uranio a nivel comercial: La difusión gaseosa y la centrifugación.

El paso final para Uranio natural y Uranio enriquecido es la fa--bricación de elementos combustibles. El combustible listo se quema en el reactor donde saldrá para ser guardado como desecho o reprocesado para extraer los remanentes de Uranio y Plutonio⁽⁸⁵⁾.

Los pasos que se mencionaron se conocen como "La parte inicial" -- del ciclo del combustible nuclear. "La parte final" del ciclo co--mienza cuando se extraen del reactor los elementos usados como -- combustibles. El combustible usado es altamente radiactivo y produce energía calorífica debido al lento decaimiento de los productos radiactivos de la fisión. El combustible usado debe almacenarse, cubierto de agua durante meses, en el lugar del reactor, a fin de lograr la eliminación del calor residual, y como medida de protección contra la radiación que emiten los productos de la fi--sión.

(85) Dalmau, C., Op. cit., p. 85.

Es entonces cuando los elementos usados del combustible pueden -- portarse en recipientes especialmente protegidos hasta una planta de reprocesamiento. Aquí son procesados mecánicamente, se les disuelve en ácido y por un proceso gravimétrico se separan en tres componentes básicos: el remanente de Uranio; el Plutonio y los -- productos radiactivos de la fisión. Estas plantas de reprocesa- -- miento son complejas debido a que los materiales por recuperar -- (Uranio y Plutonio) se hallan mezclados con elementos de la fi- -- sión altamente radiactivos⁽⁸⁶⁾.

Es necesario mencionar en este apartado algunas consideraciones - generales sobre el Plutonio y el concepto de vida media de un ele- -- mento radiactivo.

El Plutonio no se encuentra en la naturaleza, es un producto - -- transuránico y un subproducto de todas las operaciones de reacto- -- res nucleares en las cuales esta presenta el Uranio 238, si este elemento absorbe electrones, como resultado de esto se transmuta- -- en Plutonio 239.

En relación al concepto de vida media de un elemento radiactivo - puede decirse lo siguiente: "Aunque es imposible predecir el mo- -- mento en el que se producirá la desintegración de un átomo deter- -- minado, se puede establecer el ritmo o índice de esta, siempre --

(86) Ibidem, Op. cit., p. 85.

que se trate de una cierta cantidad de átomos, lo que se denomina "Vida Media" del elemento. Si la vida de una sustancia radiactiva lo hará dentro de éste lapso, la mitad de las restantes, decaerán en otros 100 años y así sucesivamente hasta el último átomo. Por lo tanto, puede decirse que la vida media de un material radiactivo varía entre una billonésima de segundo y miles de millones de años. Como ejemplo, puede citarse la vida media del Estroncio 90 y del Cesio 137, cuya vida media respectivamente es de 28 y 27 -- años y se deben de almacenar durante más de 500 años para que alcancen las 20 vidas medias recomendadas, es decir, hasta que emitan casi una millonésima de su actividad original⁽⁸⁷⁾.

Teniendo ya los antecedentes en cuanto al conocimiento de lo que es el Uranio como combustible, como se procesa dentro de lo que se denomina el ciclo del combustible nuclear, además de haber definido de una forma breve lo que son los residuos nucleares, se plantea como necesario conocer cuáles son los tipos de reactores nucleares, y su descripción sencilla en base a los principios de su funcionamiento.

El criterio para clasificar los tipos de reactores núcleo-eléctricos se debe a la orientación tomada del documento conformado por el informe del WAES, en donde se propone la existencia de dos ti-

(87) Foley y Nassim. Op. cit., p. 149.

pos básicos de reactores: Los Reactores Térmicos y los Reactores de Neutrones Rápidos (también llamados de Cría)⁽⁸⁸⁾.

Los Reactores Térmicos pueden a su vez clasificarse en los siguientes tipos:

- Los Reactores de Agua Ligera (RAL).
- Los Reactores Refrigerados por Gas (tipo Magnox).
- El Reactor Canadiense de Agua Pesada (tipo CANDU).

Los Reactores de Neutrones Rápidos solo tienen un tipo que es:

- El Reactor Reprodutor Rápido.

Las centrales nucleares se asemejan a las que consumen combustibles fósiles, la similitud radica en que ambas generan vapor para mover las turbinas conectadas a generadores para producir electricidad. La diferencia consiste en que las centrales nucleares utilizan combustibles nucleares.

Una Central Nuclear o Reactor Termonuclear se basa en el control de una reacción en cadena del material fisionable. Este material fisionable U 235 esta "diluido" con otro material U 238, pero el importantísimo núcleo de fisión U 235, es el combustible nuclear se convierte en calor, y además expulsa 2 ó 3 neutrones. A estos-

⁽⁸⁸⁾ WAES., Op. cit., p. 287-288.

neutrones pueden ocurrirle tres cosas: La primera, algunos pueden escapar por la superficie de la masa de Uranio 238 y se convierten en Plutonio (Pu 239) que es una material fisionable como el U 235 ó; segundo, algunos serán atraídos por otros núcleos de U 235 para mantener la reacción en cadena, el núcleo de U 235 que se divide, libera calor y expulsa 2 ó 3 neutrones y tercero ser frenados por el moderador (Véase la ilustración 16).

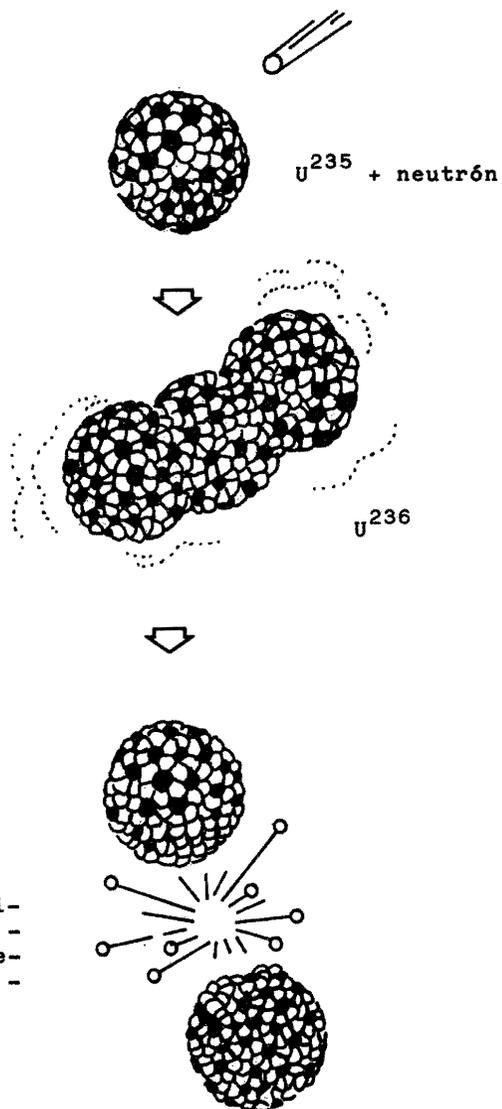
El uranio en estado natural contiene solamente un 0.7 % de núcleos fisionables de U 235. El enriquecimiento eleva esta concentración hasta cerca del 3 %. Esta, aunque relativamente baja, es adecuada para mantener una reacción en cadena, siempre y cuando los neutrones de la fisión sean frenados por un "moderador" es un material, mediante el cual, los neutrones de fisión reducen su velocidad a energías térmicas fuera de la masa de uranio donde continúa la reacción", un material con núcleos ligeros tales como el agua ordinaria, el agua pesada (D_2O), o el carbón en forma de grafito⁽⁸⁹⁾.

Un reactor nuclear, consiste en material fisionable U 235, generalmente en forma de barras, en asociación con unos moderadores. El ajuste de las barras de control absorbedoras de neutrones en el centro del reactor, donde ocurre la reacción mantienen crítico el sistema y permite aminorar la velocidad de los neutrones cuando se empujan las barras hacia el fondo para absorber neutro-

⁽⁸⁹⁾Mc. Mullan, Morgan y Murray., Op. cit., p. 282-284.

Ilustración N° 16

Proceso de Fisión Nuclear



El Producto de la Fisión: 2 núcleos con número atómico entre 30 y 65, más varios neutrones.

nes, deteniendo la reacción⁽⁹⁰⁾.

A continuación se describe de una breve manera a los reactores de tipo térmico:

- Los Reactores de Agua Ligera.

Los Reactores de Agua Ligera (RAL) se basan en el principio de -- que la refrigeración del reactor es realizada por agua común - -- (H_2O), pero caliente, el combustible es uranio ligeramente enri-- quecido. Las dos variantes desarrolladas de este tipo son: El - - Reactor de Agua a Presión (RAP) y el Reactor de Agua en Ebulli- - ción (RAE).

Desde un punto de vista comercial, éstos dos tipos de reactores do minan actualmente al mercado de los reactores nucleares. La Wes-- tinghouse fábrica el RAP y la General Electric Corp. el tipo RAE. Por lo tanto, puede decirse que casi todos los reactores actual-- mente en construcción fuera del bloque de los países socialistas-- están bajo licencia de estas compañías o bien son construidos di-- rectamente por ellas.

- Los Reactores Refrigerados por Gas. (tipo Magnox).

(90) Ibidem, Op. cit., p. 184.

El otro tipo de reactor utilizado en gran escala en las centrales comerciales y potenciado por las autoridades británicas es el refrigerado por gas, ejemplificado por el diseño Magnox. En este caso se utiliza el gráfito como moderador y es refrigerado por el paso de grandes cantidades de Anhídrido Carbónico que pasa a través de una pila.

- El Reactor Canadiense de Agua Pesada, tipo CANDU.

Las centrales nucleares de agua pesada utilizan el uranio natural como combustibles y agua pesada (D_2O), en lugar de agua ligera -- (H_2O) como moderador. El ciclo de combustibles del reactor de -- agua pesada difiere considerablemente del que se da en los reactores de agua ligera, durante el ciclo de combustibles del reactor de agua pesada, el uranio se usa una sola vez. El combustible usado se almacena ahora sin plantas de reprocesamiento (esto es, empleando la utilización simple).

El ciclo de los reactores de agua pesada tipo CANDU (nombre tomado de las siglas Canadian Deuterium Uranium) utiliza como combustible el Uranio natural y excluye por lo tanto la conversión en Hexafluoruro de Uranio (UF_6), la etapa de enriquecimiento y la -- creación de almacenes de colas de uranio agotadas (U 235 al 0.2-- 0.3 %).

La primera central CANDU entró en operación en Pickering, Ontario

en 1971, el sistema aún constituye la base del programa nuclear - canadiense.

Los Reactores de Neutrones Rápidos como ya se ha mencionado, tienen hasta el momento un solo tipo de reactor, que es el Reactor - Reproductor Rápido (fast Breeder Reactor, FBR), a continuación se comentan de una forma breve algunas de sus características más importantes.

- El Reactor Reproductor Rápido.

Los Reactores de Neutrones Rápidos (también llamados de Cría), -- aún cuando hay varias modalidades, se parecen mucho, ya que em- -- plean las mismas opciones técnicas fundamentales, es decir: El Sodio como fluido de enfriamiento, usado para conducir fuera del -- núcleo del reactor el calor producido por la fisión del átomo, -- así como el Dióxido de Plutonio (PuO_2) que es usado como combustiible.

La mayor ventaja de los Reactores de Cría es que utiliza, casi en su totalidad la energía contenida, sea de agua el uno por ciento- de la energía del Uranio utilizado, sea este el usado en su esta- do natural o enriquecido. El 99 % restante se convierte en una -- masa de Uranio empobrecida no utilizable.

Se tienen que considerar dos aspectos importantes para la cons- -

trucción de los Reactores de Cría. El primero, es que debido a -- que utilizan como combustible Dióxido de Plutonio, (PuO_2), estos combustibles son generados por la primera generación, el segundo punto se refiere al suministro de combustible de un programa nuclear "Una Reactor de Cría de 1000 megawatts", necesita para funcionar de 5 a 10 toneladas de Plutonio. Debido a una serie de razones no existe, en el plano internacional, un mercado libre de Plutonio; pues como se sabe, dicho elemento solo puede ser producido en las centrales de primera generación como, por ejemplo: -- Los Reactores de Agua Ligera⁽⁹¹⁾.

"El sistema de los Reactores Reproductores Rápidos se inicia con un reactor experimental pequeño denominado Rapshodie. Con el fin de terminar de conformar su tecnología, posteriormente se construyó Fenix, una central de demostración de 250 megawatts, destinada a comprobar su efectividad a nivel industrial, la Central Fenix se encuentra en funcionamiento desde 1973. En la actualidad se trabaja en la construcción de Superfenix, una central de 1200 MWe (Megawatts), la única con esta dimensión y potencia. Esta central, - aún cuando es solo un prototipo, esta ya a la altura de las centrales núcleo-eléctricas comerciales más grandes"⁽⁹²⁾.

Las reservas de uranio han sido clasificadas por el WAES⁽⁹³⁾ de -

(91) Burg, Andrea., "La Energía Nuclear en Francia a Partir de los Reactores de Cría., Rev. Ciencia y Desarrollo. Vol. N° 38, ed: CONACyT. México, Mayo-Junio de 1981., p. 141.

(92) Burg, A., Op. cit., p. 142-146.

(93) WAES, Op. cit., p. 290-292.

dos maneras; como reservas razonablemente garantizadas y recursos adicionales estimados. Las jerarquias de tales reservas oscilan entre 0.5, 0.20 % ó 5-20 kilogramos de óxido de uranio (U_3O_8) por toneladas de minerales. En el informe de la OCDE/AINEA , el total de las reservas razonablemente garantizadas se estima que alcanzarían alrededor del 1,000.00 de toneladas de óxido de uranio a un precio de 32 dólares por kilogramo y unos 730,000 toneladas adicionales a precios hasta de 65 dólares por kilo de óxido de uranio.

Los recursos adicionales estimados eran de 1,000.000 de toneladas a 32 dólares por kilogramo de Oxido de Uranio. La combinación de estos dos tipos de reservas se encuentran en una proporción del 72 % en los siguientes países: Australia, Canadá, República Sudafricana y los Estados Unidos. Además, de estas reservas y recursos hay toda una gama de estimaciones ya que:

- Hasta la fecha solamente una pequeña parte de la corteza terrestre ha sido explorada.

- Se sabe que se podrá encontrar Uranio en concentraciones mucho menores y que sería posible producirlo a un costo mayor, las fuentes de bajas graduaciones (por debajo de las 100 parte por millón de óxido de uranio en esquistos (25-80 p.p.m.), en granitos (10-20 p.p.m.) y el que se puede recuperar del agua del mar, por lo tanto no es de esperar que proporcionan ningún monto sus

tancial para cubrir las necesidades previstas.

- Otro combustible en potencia, con reservas aproximadamente del mismo orden de magnitud que las del Uranio, es el Torio (${}^{232}\text{Th}$ - 232) el cual absorbe un neutrón y se transmuta en Uranio 233, - el cual también es un material fisible y en los reactores se -- comporta como Uranio 235 ó Plutonio 239. La conversión del To-- rio en Uranio 233 puede llegar a tener importancia para varios- tipos de reactores térmicos, si se llevan a cabo las investiga- ciones y el desarrollo necesario.

El principal objetivo en el empleo de los materiales nucleares es en la producción de vapor para la generación de electricidad, la- cual se empleará en el consumo de grandes aglomeraciones urbanas- y complejos industriales.

Otro de los fines de este tipo de generación de energía esta dado para la producción también de electricidad y calor para emplearlo directamente en procesos industriales que requieren cantidades in- gerentes de energía como la nitrogenización de compuestos a par-- tir del nitrógeno atmosférico y otros procesos como la producción de Aluminio y Hierro.

Además, cada vez más se amplía el uso de los materiales radiacti- vos en muy diversos campos como son: La aplicación de radio-isóto- pos y las radiaciones atómicas en la ingeniería y la industria --

por ejemplo: conformando trazadores radiactivos y radio-instrumentos en la industria; para el análisis en la Hidrología y Geotermia; en el diseño de radio-instrumentos aplicados en la Agronomía; para la irradiación en la preservación de alimentos en silos y -- frigoríficos; la aplicación de la irradiación en la conservación y mejoramiento del medio ambiente, así como la aplicación de los productos radiofarmacéuticos en el control de ciertas enfermedades.

4.1.3 Perspectivas del Desarrollo de la Energía Nuclear.

El desarrollo de la energía nuclear no ha experimentado el ritmo de crecimiento que algunos informes habían proyectado. Las razones son muchas, entre los más importantes argumentos están los siguientes:

La aparente contradicción de los años setentas y la actual década dentro de la cual se experimentó una fuerte crisis energética sobre todo en los países con economía desarrollada, demostró que, aunque hubiese crisis de energéticos convencionales, no aumentó la electricidad generada, ya que solo tiende a aumentar en una economía rica y en expansión, este aumento en el consumo de energía va destinado al elevar el nivel de vida, el bienestar, e incluso el consumo superfluo. Por lo tanto puede decirse que las recesiones económicas como la actual tienden a disminuir la demanda de energía eléctrica influyendo con ello en los países con economías y tecnologías menos desarrolladas.

Las resistencias sociales también retardan el desarrollo de la energía nuclear. Caso particular el problema no resuelto aún, de la manipulación y disposición final de los residuos nucleares, algunos de ellos muy peligrosos por su toxicidad y por la duración de sus vidas medias; bastante largas, como es el caso del Plutonio .

Otros más, son los accidentes que en las plantas átomo-eléctricas se han efectuado, motivadas por factores térmicos o humanos, pero cuyo efecto ha movilizado y organizado amplias protestas en contra de dichas políticas energéticas.

Los argumentos anteriores son validos por muchas razones, definen, de cierta manera, las perspectivas de desarrollo que tiene este - recurso energético para proporcionar una parte significativa en - el contexto de la producción mundial de energía, sea esta su fuente los recursos convencionales y los otros no convencionales. Por lo tanto sobre este aspecto puede decirse lo siguiente:

"Se calcula que para 1988, había en funcionamiento 414 reactores- (considerando los dos tipos básicos): 196 en Europa, 170 en América del Norte, 43 en Asia y 5 en América Latina que producen en -- conjunto un total de 307,000 megavatios.

Es posible que a fines de siglo la producción de energía nuclear se haya multiplicado por tres (360,000 megavatios más aproximadamente), para la cual se requerirán unas 500,000 toneladas de combustibles al año"⁽⁹⁴⁾.

Por lo obsevado anteriormente, se puede mencionar que la energía-nuclear suministra tanta energía como la que se obtendrá de la --

(94)

Zoran, Z., Op. cit., p. 21.

combustión de 250 millones de toneladas de carbón; es decir, alrededor del 2.25 % de la producción de electricidad en el mundo ⁽⁹⁵⁾. Razón por la cual esta lejos de convertirse en un recurso energético prioritario; no de la magnitud de los combustibles fósiles, sino incluso de los mismos recursos hidráulicos, ya que estos suministran tres veces más energía.

Los comentarios anteriores, permiten apreciar algunas de las dificultades de no poder calcular con confianza el aporte que la energía nuclear puede ofrecer para cubrir la necesidad de energía primaria del mundo en el momento actual, y a final de siglo, ya que requiere de un programa vigoroso y decidido de construcción de -- centrales nucleares continuado a lo largo de los años que faltan para concluir el siglo.

Por lo tanto, puede afirmarse que, siguiendo el criterio de Z. -- Zaric ⁽⁹⁶⁾, quien menciona que el crecimiento en cuanto a la aportación de electricidad generada en los tipos básicos de reactores átomo-eléctricos será: Primero, el que corresponde a una proyección de crecimiento fuerte se espera que pueda aportar un total de 1.74 terravatios por año (1.74×10^{12} vatios), lo que representa un 1.03% del total proyectado para todos los aportes energéticos en conjunto (incluidos el petróleo, el gas, el carbón y otros); una estimación de crecimiento débil augura una producción energética

(95) Ibidem., p.21

(96) Sassim., W. Op. cit., p. 12.

tica de 1.29 terravatios (1.29×10^{12} vatios), que representan el 0.97 % de esa producción total. Aún cuando sea baja esta producción, los obstáculos que éste crecimiento debe vencer son múltiples y complejos; sin embargo, aún siendo bastante optimista el aporte que hará la energía nuclear será menor de lo esperado. Una de las limitantes será el intercambio de tecnología en un mundo dividido en pueblos, culturas y economías muy diversas, cuyas diferencias tienden a hacerse cada vez mayores, como consecuencia de la concentración de las riquezas en pocos países, en detrimento del resto de ellos.

4.1.4 El Desarrollo de la Energía de Fisión Nuclear en la República Mexicana.

El desarrollo de la tecnología que permita el uso de la energía derivada de la fisión nuclear, plantea la necesidad de conocer de manera breve el contexto histórico sobre el cual se ha desarrollado esta, la posibilidad de diversificar las fuentes de energía en un futuro próximo, posteriormente se hace referencia a la necesidad de conocer la extensión en que se encuentran los recursos de la materia prima básica para iniciar el proyecto de obtención de energía nuclear, a partir de los materiales radiactivos, y por último observar la orientación que se le ha dado al uso de la tecnología de las centrales núcleo-eléctricas; además de mesurar la importancia que tienen estos elementos radiactivos en las diversas formas de su aplicación, y por último considerar las perspectivas de desarrollo de la energía nuclear en relación al contexto de la República Mexicana.

En el Diario Oficial, el día 4 de febrero de 1982 fue publicado el siguiente proyecto. "De esta forma se inicia el Programa Nuclear-Eléctrico cuya meta es lograr 20,000 megawatts instalados en éste tipo de centrales, a más tardar en el año 2000"⁽⁹⁷⁾.

(97)

En Uno Más Uno., 18 de marzo de 1982.

Al iniciar una licitación para una nueva central nucleo-eléctrica conviene puntualizar las experiencias obtenidas en el proyecto de Laguna Verde.

Como resultado de los estudios elaborados en 1968 por la CFE con el apoyo del Stanford Research Institute y la participación de Petróleos Mexicanos, la Comisión Nacional de Energía Nuclear, Banco de México y Nacional Financiera, para determinar las posibilidades de la Construcción de una central nuclear en México, se decidió en 1969, efectuar un concurso con el fin de obtener ofertas - en firme y corroborar los resultados del estudio mencionado en el sentido de que la energía núcleo eléctrica resultaba competitiva con otro tipo de centrales en el país.

El concurso se realizó con la participación como suministradores de reactores nucleares, de una compañía canadiense, cuatro compañías estadounidenses, una alemana, una japonesa y una inglesa. La evaluación determinó que la energía nucleo-eléctrica ya era competitiva en México.

Fue a principio de 1971 en que la CFE firmó un contrato con la compañía norteamericana General Electric para conseguir su apoyo tecnológico y con la Burns and Roe Corporation que apoyaba con sus servicios de ingeniería y arquitectura la construcción de una planta con dos reactores, con una potencia de 1931 y 650 MWe respectivamente, cuando finalizaba el año de 1980 apareció la prime-

ra definición oficial sobre el papel que el gobierno la asignaba a la energía nuclear en México. Sin que éste fuese muy preciso, - el programa de energía dió un primer marco de planeación.⁽⁹⁸⁾ En este documento se planteó alcanzar los 2,500 MW. (2.5×10^6 vatios) nucleares, para la década de los noventas y se fijó como objetivo alcanzar 20,000 MW. instalados para el año 2000.

La realidad económica del país, que en 1980 mostrará signos de dificultades, las que se hicieron evidentes el año de 1981 para hacer crisis al cambio de año. En tales condiciones nunca se llegó a definir el tipo de reactor como demanda el programa de Energía y se postergó la intención de contratar una segunda planta nuclear-eléctrica. Con ello se convirtió en anecdótico el objetivo de los 20,000 MW.

En el presente año (1989) y después de 16 años de vicisitudes, -- por fin se pretende, por parte de la CFE, iniciar el funcionamiento de su planta de laguna verde, Veracruz, la cual fue proyectada desde 1972.

A partir del 14 de abril de 1989 la unidad uno de la planta nuclear Laguna Verde fue sincronizada al servicio eléctrico nacional, iniciando con ello la generación de energía, informó el Director General de la CFE, Guillermo Guerrero Villalobos.

(98) Ponce, Antonio, "La Energía Nuclear debe ser un Factor de Desarrollo Nacional". Rev. Energía: Del Fuego al Atomo. Año 5, N° 48, México, 1983. p. 29.

"Desde ayer, por primera vez, Laguna Verde esta generando electricidad, pero la terminación de puesta en servicio de la planta tendrá lugar una vez que concluyan todas las pruebas a que están sometidas cada una de las partes. La nucleo-eléctrica esta operando al 20% de su capacidad y genera 40 megavatios"⁽⁹⁹⁾.

"Respecto a la obsolescencia del equipo con que entró en operación - Laguna Verde, se ha señalado que aún cuando no es el más actualizado, se le han hecho adaptaciones y ajustes para adecuarlo a las necesidades actuales, respetando siempre los requisitos de operación establecidos por la Comisión de Seguridad Nuclear y Salvaguardias que se rigen por las condiciones de licenciabilidad del tipo de reactor que opera en ella. La inversión total de esta nucleo-eléctrica fue de 2400 millones de dolares, a valor corriente, reconociendo que la inversión inicial calculada de 1970, fue de 450 millones de dolares"⁽¹⁰⁰⁾.

La historia de estos reactores no ha sido lineal, ya que ha correspondido a la política energética del momento, razón por la cual han existido una serie de incongruencias en la planeación, coordinación y programación adecuada que se la ha hecho a este programa piloto; sin embargo, es necesario mesurar su importancia dentro del contexto de desarrollo tecnológico y energético de la República Mexican.

(99) En Uno más Uno, 15 de abril de 1989.

(100) Ibidem., Op. cit., p. 14.

Por ello, es conveniente considerar que la historia del uso de la energía nuclear no se refiere exclusivamente al uso de los elementos radiactivos en la captación de energía eléctrica, sino que, - lo es también de la exploración, explotación, elaboración y consumo de dichos combustibles. cuyo uso esta destinado a otros fines- no energéticos.

A continuación, se presentan de una manera breve, algunas observaciones en relación a la cuantificación de recursos de Uranio en - la República Mexicana, así como del empleo en cuanto al tipo de - tecnología necesaria para las centrales átomo-eléctricas, además- de otros usos que se les da a los elementos radiactivos en el con- texto de nuestro país.

- Cuantificación de las Reservas de Uranio.

El potencial uranífero del país es aún incierto, pero amplio, - según el criterio de los geólogos que trabajan el área de explo- ración de ese mineral, lo que puede indicar que en un próximo - futuro se pudiesen considerar metas más ambiciosas en cuanto al aprovechamiento del recurso.

La República Mexicana cuenta con yacimientos ya explorados en los siguientes estados: Chihuahua, en las minas El Nopal, Nopal III,- Las Margaritas, Puerto III, Los Puertos, Laguna del Cuervo, La -- Domitila, El Calvario y Sierra Gómez; en Sonora las Minas de Los-

Amoles, Noche Buena y Luz del Cobre; Durango tiene las minas de:- La Preciosa, y el Mezquite; en Nuevo León y Tamaulipas los depósitos descubiertos hasta ahora son: La Coma, Buena Vista, El Chapote, La Presita y Trancas Peñoles; en Baja California se han descubierto grandes yacimientos de roca fosfórica que contiene alrededor de 120 p.p.m. de Oxido de Uranio (U_3O_8), estimándose con esto una potencia de 6000 toneladas de Oxido de Uranio en la localidad de San Juan de la Costa y 145,000 toneladas en Santo Domingo⁽¹⁰¹⁾.

De los yacimientos mencionados, con excepción de las minas localizadas en: El Nopal, Margaritas y Puerto III en Chihuahua; Los Amoles en Sonora, y la Coma en Nuevo León, el resto de las reservas no han estado sujetas a estudios de factibilidad con fines productivos.

Las estimaciones de la potencialidad de producción de las minas - evaluadas es variable, lo cual por supuesto, esta determinando la riqueza de las mismas; por ello, se ha proseguido a conformar proyectos de explotación conjunta de estas minas; por lo tanto, los proyectos más importantes sujetos a explotación son: El Alberto - Barajas, Los Amoles y el Peña Blanca, ambos proyectan una producción de 330 toneladas al año de Oxido de Uranio⁽¹⁰²⁾.

(101) Riverón, S., Op. cit., p. 57.

(102) Ibidem, 57.

Las anteriores anotaciones acerca de las reservas de mineral de Uranio se ven favorecidas por las disposiciones oficiales que han dictaminado la legislación Mexicana a favor de la protección y -- uso adecuado de éstos recursos.

Por ello, y a continuación se transcribe un párrafo de Silvia Riverón en relación a la Legislación Mexicana en base al uso de este tipo de recursos naturales.

"Por las atribuciones que la ley reglamentaria del artículo 27 -- constitucional establece en materia nuclear, en que a Uranio Mexicano (URAMEX) le corresponde ser el agente exclusivo del Estado - Mexicano para la exploración, explotación, beneficio y manejo del ciclo del combustible, exceptuando la fase de quemado del combustible, la cual le corresponde a la CFE, así como la comercialización de los minerales radiactivos; por lo tanto el programa núcleo-eléctrico nacional debe plantear el surgir de las necesidades de diversificación energética del país y responder a un desarrollo nacionalista"⁽¹⁰³⁾.

- La Tecnología para las Centrales Atomo-Eléctricas y otros Usos de los Materiales Nucleares.

En México, las ciencias y técnicas nucleares son objeto de estudio y desarrollo. Existen diversas instituciones que se dedican-

(103) Ibid., p. 58.

al estudio de la radiactividad, entre las que destacan, están:-
Materiales Radiactivos, Química Nuclear y Aplicaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ); el Departamento de Química del Centro de Estudios Nucleares (CEN) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Departamento de Ciencias Nucleares, División de Estudios de Postgrado, de la Facultad de Química (UNAM).

El objetivo general que tiene el ININ se extiende a cubrir el estudio del núcleo atómico, en términos de diversas investigaciones, que van desde el desarrollo de aplicaciones energéticas teniendo el Instituto un reactor experimental el Triga Mark III y un acelerador de partículas subatómicas el Tandem Van Der Graaff; hasta la elaboración de radioisótopos aplicables en la industria, en la producción de alimentos, en los campos de la salud y la bioingeniería, así como el asesoramiento que ha brindado a la central núcleo-eléctrica de Laguna Verde.

La anterior administración, ha tomado en cuenta que el desarrollo energético del país es una de las tareas prioritarias del gobierno, como lo demuestra el Plan Nacional de Desarrollo. Por ello, se ha creado la Secretaría de Energía, Minas e Industrias Paraestatales dentro de la cual funciona la Dirección General de Investigación y Desarrollo⁽¹⁰⁴⁾.

(104) Plan Nacional de Desarrollo (1983-87), Secretaría de la Presidencia, México, D.F., 1983.

A la Secretaría, en lo general compete, de acuerdo con la ley de planeación, la conformación de los programas sectoriales de energía y minas; en lo particular a dicha dirección le corresponde -- aportar los elementos necesarios para fórmular la política específica de investigación y desarrollo de estos programas energéticos.

Bajo esta perspectiva administrativa, el gobierno ha concedido a diversas instituciones el desarrollo de la energía nuclear en México; por una parte, le corresponde al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), el desarrollar la tecnología apropiada; la explotación del recurso mineral a Uramex; a la CFE la operación de la central núcleo-eléctrica de Laguna Verde.

Por lo que respecta a la presente administración e interpretando el Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994, no especifica nada relacionado con la minería de materiales radiactivos, ni con la expansión del uso y servicio de la energía eléctrica de procedencia -- nuclear⁽¹⁰⁵⁾.

El Centro de Investigación de Reactores (CIR), dependiente del -- ININ nace como consecuencia de la ley reglamentaria del artículo 27 constitucional, en febrero de 1982, el gobierno del estado de Sonora y el Gobierno Federal acordaron la construcción del CIR en

(105)

En Periódico La Jornada, México, D. F. 1º de junio de 1989.

los alrededores de Hermosillo, capital del estado. "Para localizar el sitio se utilizarón los criterios y las normas dictadas -- por el Organismo Internacional de Energía Atómica y la Comisión - Estadounidense Reguladora de lo Nuclear, los criterios están basados en los siguientes aspectos: La densidad demográfica, la utilización de los suelos, las características meteorológicas, la hidrología y la actividad sísmica", así como el apoyo técnico de la Universidad de Sonora. Sin embargo, es necesario comentar que el CIR ha tenido problemas graves para su funcionamiento, y que por el momento se ha suspendido su construcción en dicho estado. (105)

El Departamento de Química del Centro de Estudios Nucleares de la UNAM, tiene como objetivo, contribuir a la comprensión del Universo y al avance tecnológico y cultural del país, mediante el desarrollo de las ciencias nucleares. Entre sus funciones se cuentan la investigación básica y aplicada en las áreas de Química Nuclear, Radioquímica y Química de Radiaciones.

El Departamento de Ciencias Nucleares de la División de Estudios de postgrado de la Facultad de Química de la UNAM, imparte estudios de maestría en Química, Física e Ingeniería en los campos de Química, materiales y reactores nucleares.

- Perspectivas de Desarrollo.

La perspectiva de desarrollo de la utilización de los materia--

les o elementos radiactivos está determinado por varios factores de su conjunto, tres de los más importantes son: El desarrollo económico del país, la política energética de la administración actual y la posibilidad de construir tecnologías propias.

A continuación se presenta el punto de vista de varios especialistas, que desde su propia perspectiva, proponen las condiciones de éste desarrollo.

Delmau C.,⁽¹⁰⁷⁾ considera lo siguiente: "Es una realidad incontrovertible que México por mucho tiempo no podrá ser independiente desde la perspectiva del desarrollo de tecnología nuclear. Las primeras centrales se han tenido que adquirir por completo en el exterior, y si bien la intención es ir captando y asimilando la tecnología, pasarán muchos años antes de que sea totalmente nuestra".

El subsecretario de Energía, José Luis Alcudia (1987) comenta lo siguiente: "La coyuntura financiera del país ha impedido la instrumentación de un programa nuclear, que contempla la construcción de otras centrales nucleares en el país, de cuenta de los recursos potenciales de Uranio en México y determine la posibilidad de enriquecimiento de ese material en plantas nacionales que las instalaciones nucleares en el país generarán para -

(107) Delmau, C., Op. cit. p. 130.

el año 2000, en tanto que el programa de la administración anterior estimaba la generación de 20,000 megavatios para el mismo tiempo. Por lo que para el período 1984-1988 este tipo de generación eléctrica representará sólo el 5 % de la capacidad total del fluido eléctrico, que se ha de consumir en México. ⁽¹⁰⁸⁾

Juan Lartigue, ⁽¹⁰⁹⁾ hace los siguientes comentarios: "Así que - sea por razones económicas o de disponibilidad de recursos, México recurrirá, a mediano plazo, a las fuentes alternas de energía, muchas de las cuales requieren todavía de una secuencia de desarrollo tecnológico. Por otra parte, la recesión económica - no puede ser eterna. México reasumirá su ritmo de crecimiento, - más cauteloso, pero más firme en los siguientes años y ese desarrollo le exigirá una mayor disponibilidad de energía".

Antonio Ponce, ⁽¹¹⁰⁾ considera la siguiente alternativa: En los próximos, años está totalmente negada la posibilidad de que - nuestro país se comprometa en el desarrollo de plantas adicionales a Laguna Verde. Sin embargo, un análisis de las necesidades energéticas de nuestro país, así como de su futuro nos indican que será sumamente difícil que México pudiese prescindir de este tipo de energía, por lo que dentro de un tiempo determinado,

(108) Lomas, Emilio "Postergan La Entrada en Operación del Proyecto de Laguna Verde". México, 13 de febrero de 1987 en la Jornada.

(109) Lartigue G., Juan "Fisión o ficción". Rev. Energía: Del Fuego al Atomo.- Año 5, N° 48, México, 1983. p. 32.

(110) Ponce, A., Op. cit., p. 30.

habrá de continuar en la conformación, construcción e instalación de otras plantas nucleares, las que seguramente irán intensificando su ritmo hasta que la energía nuclear alcance un espacio importante en el siguiente siglo".

4.2 LA FUSION NUCLEAR.

4.2.1 Antecedentes históricos.

La idea de producir energía proveniente de los procesos de fusión nuclear surge después de la Segunda Guerra Mundial, posteriormente a la impresión que causó la potencia destructiva de las bombas nucleares; aplicada, antes que ha fines pacifistas, a las prácticas bélicas.

Después del perfeccionamiento de los reactores de fisión en la década de los cincuentas, surge la idea de producir energía térmica o eléctrica, a partir de las reacciones de fusión nuclear, en esta misma década se conforma de manera teórica en el Sistema Tokamak propuesto por los científicos soviéticos Igor E. Tamm y Andrei D. Sajorov, y a partir de este momento se inicia, por decirlo así, la experimentación para conformar la construcción de una central de fusión nuclear.

En la década de los años sesentas, países de Europa Occidental -- miembros del EURATOM (una consecuencia de la organización económica de Europa Occidental, y apoyada por ésta, se crea El Consejo Europeo de Energía Atómica (EURATOM), en 1957 por los países del Benelux y Francia, Italia y la R.F. de Alemania. Posteriormente se incorporan el Reino Unido, Irlanda y Dinamarca, lo mismo que Suiza y Suecia), trabajan conjuntamente en un programa de investigación

coordinada sobre la fusión nuclear.

Este proyecto inicial ha cristalizado con la puesta en marcha del proyecto Joint European Torus (JET), ubicado en Culham, Gran Bretaña. El objetivo central del experimento consiste en calentar y confinar materiales en condiciones de temperatura, densidad y aislamiento térmico próximo a los que se requerirán en un reactor de fusión controlada, éste reactor hasta el momento es hipotético, pero deberá tener condiciones físico-químicas similares, al lugar donde se pueden llevar a cabo este tipo de reacciones, como es el caso del núcleo de las estrellas.

El citado consejo ha publicado informes sobre el avance de los trabajos, y ya hacia el año de 1978, afirmaba que las investigaciones habían progresado tanto que se preparan a construir las instalaciones de una central de fusión nuclear, a partir de las reacciones Deuterio-Tritio.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), también desempeña un papel importante en lo conserniente a la cooperación internacional de la energía atómica y crea en 1970 el Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión Nuclear, cuyo objetivo principal es proporcionar asesoría a los proyectos y coordinación de las investigaciones que se llevan a cabo. Asimismo, los países que realizan importantes programas de investigación en la materia, comunican tanto avances como planes y actividades futuras al

consejo, que los somete a debate.

La contextualización anterior no se puede considerar completa, -- sin comentar que, dicho proceso de investigación para hallar la - tecnología apropiada para controlar al fusión nuclear se ha visto alterado por una serie de noticias que ha lo largo de varios años se han difundido, los cuales están modificando la situación planteada, algunos de los acontecimientos más sobresalientes son los siguientes:

En 1962 en el Instituto de Físico-Química de la Academia de Ciencias de la URSS, se desarrollan una larga serie de experimentos so bre la variación de las propiedades de los líquidos en diversas - combinaciones de laboratorio, llevarón al descubrimiento de una - nueva forma estable del agua, cuya densidad sería la de una vez y media la densidad del agua ordinaria y cuya estructura molecular - podría ser descrita como polimérica. Se le bautizo como "polia- - gua"⁽¹¹¹⁾.

El anuncio formal se realizó hasta 1986 en una publicación científ ica. Inmediatamente, esta publicación causó gran revuelo, en - - otros mucha reserva y entre la gran mayoría la noticia fue recib i da con escepticismo. La importancia de este descubrimiento radica -

(111) Galindo, Salvador, "Fusión Nuclear y Solar Frío". en la Jornada Semanal. Nueva Epoca, N° 9, México, 13 de agosto de - -- 1989.

en el hecho de que revelaba una nueva clase de enlace químico.

Además de los diversos laboratorios del bloque socialista, la poliagua fue preparada por diversos investigadores en algunos de -- los más prestigiosos laboratorios de occidente, como Unilever y - The National Bureau of Standards de los Estados Unidos⁽¹¹²⁾.

Ante esta situación, uno de los descubridores de la poliagua, el Dr. Derjugin escribió un artículo de divulgación en la revista - Scientific American (Nov. 1970), en la cual presentaba su caso, - junto con un resumen de la evidencia experimental encontrada en - diversos laboratorios del mundo, y llamando la atención sobre - - cálculos de algunos teóricos estadounidenses, que confirmaban la - posible existencia de un enlace hidrogénico, simétrico y muy corto entre dos átomos de oxígeno.

Las anteriores informaciones sirven de marco para que este año -- (febrero 1989) dos científicos informan que han descubierto un -- proceso de fusión nuclear que rompe dos grandes condicionantes en relación a dicho proceso.

A fines del mes de febrero de 1989; Stanley Pons, profesor de química de la Universidad de Utah y Martin Fleishmann de la Universidad de Southampton, Reino Unido, afirman haber conseguido la fu--

(112)

Galindo, Salvador., Op. cit., p. 38.

si3n mediante un experimento muy parecido a la electr3lisis, que-
separa los componentes qu3micos del agua, ox3geno e hidr3geno, --
por medio del paso de una corriente el3ctrica⁽¹¹³⁾.

(113) Sin Autor, en La Jornada., M3xico 25 de marzo de 1989.

4.2.2 El Proceso de Fusión Nuclear.

La fusión nuclear es un proceso o principio por el cual se han -- conformado lo que hasta el momento se ha convenido en precisar co mo el cambio o las transformaciones de la energía y la relación - con la estructura de la materia, así materia y energía se combi-- nan conjuntamente para conformar al Universo, por lo tanto, se -- puede afirmar que la fusión nuclear es la fuente de energía de -- las estrellas y forma un proceso importante en la conformación de otros cuerpos cósmicos.

El proceso de fusión se efectúa cuando los núcleos extremadamente calientes de estos cuerpos, los átomos de los cuerpos más ligeros, se unen para formar otros elementos más pesados.

Retomando los argumentos que se considerarán al inicio de este capí tulo sobre la fisión nuclear podemos decir que: "La fisión nu-- clear es el método conocido más asequible para aprovechar la ener gía acumulada en el núcleo del átomo, tomando en cuenta que la -- inestabilidad de los núcleos resultantes de la fisión poseen más- neutrones de los que tuvieron durante su configuración estable".- En el extremo opuesto de la fisión nuclear tenemos el proceso de- fusión nuclear. Aquí dos nucleos muy ligeros se fusionan juntos - para formar otros más pesados. También en este caso, el nucleo es más pesado que durante su estado estable (Esto se verifica cuando se menciona que los elementos más fáciles de fusionar son los isó

topos de algún elemento, en este caso el Deuterio y el Tritio, los son del Hidrógeno), liberando energía⁽¹¹⁴⁾.

En sí, la fusión nuclear consiste en fundir dos núcleos atómicos para producir otro ligeramente más pesado. Cuando la fusión se efectúa con núcleos de elementos ligeros, se obtienen grandes cantidades de energía. Esto es precisamente lo que ocurre en las estrellas y lo que origina el caudal ilimitado de energía proveniente del Sol.

Las reacciones de fusión nuclear solo se pueden producir en muy altas temperaturas. Para propiciar aquí en la tierra una energía de éste tipo debidamente controlada la temperatura necesaria, dependerá de la técnica o del combustible usado; pero incluso con el tipo de combustible que hoy utilizamos no se puede llegar a este nivel de energía (la que requiere es de alrededor de los 100,000.000 de °Kelvin), planteado con ello graves problemas técnicos.

Los combustibles más razonables para la fusión son los dos isótopos del Hidrógeno, Deuterio (${}_1\text{H}^2$) y Tritio (${}_1\text{H}^3$), que contienen uno y dos neutrones de más en el núcleo atómico, respectivamente. Por lo tanto podemos decir que existe Deuterio en abundancia en el agua del mar, pero el Tritio solo se produce a partir de las reacciones nucleares.

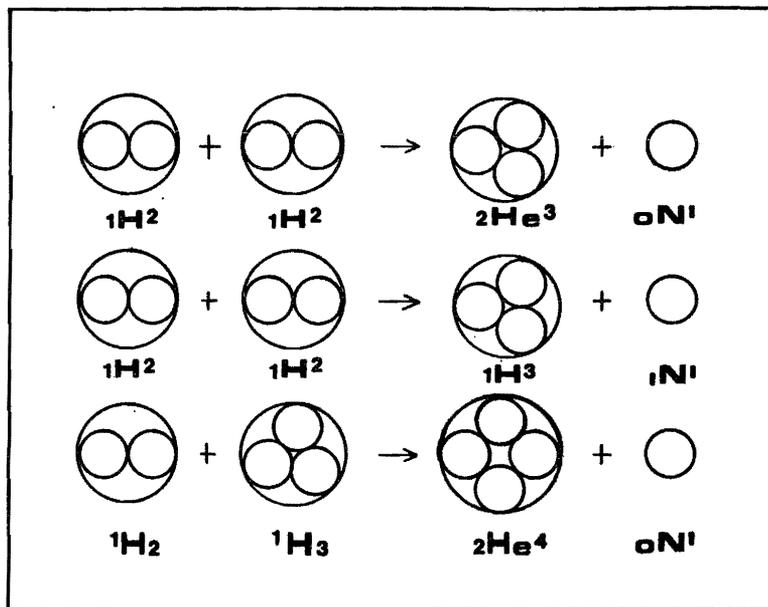
(114) Mc. Mullan, Morgan y Murray. Op. cit., p. 176.

El proceso que tendría lugar en un reactor de fusión es muy simple. Cuando dos átomos de Deuterio se combinan forman un átomo de Helio, o uno de Tritio y uno ordinario de Hidrógeno, liberando también energía. El Tritio, a su vez se combina con el Deuterio, formando de nuevo un átomo de Helio y liberan energía. Si se introduce el Litio, éste se descompone en Helio y Tritio (mediante un proceso de fisión nuclear) liberando energía y fusionándose el Tritio con el Deuterio. De esta manera, todos los componentes radiactivos son "Consumidos" y los productos finales de toda la reacción son: Helio, Hidrógeno y energía.

El único producto químico de la fusión es el Helio y el Hidrógeno que son químicamente gases inertes. Así pues, no serán necesarias operaciones de reelaboración ni de la eliminación de residuos o combustibles usados. En cambio se producirá calor residual y cierta radiactividad, por lo que la ubicación de los reactores de fusión plantearán los mismos problemas que los de fisión.

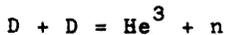
Desde el comienzo de las investigaciones llamarán la atención dos reacciones. La primera de ellas es la reacción bimolecular de los núcleos del Deuterio gaseoso. De hecho, el proceso se compone de dos reacciones paralelas y una intermedia (Véase la ilustración N° 17).

Principales tipos de reacciones de fusión nuclear

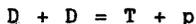


Donde: 1H^2 = Deuterio; 2He^3 = Helio - 3; 0N^1 = Neutrón; 1H^3 = Tritio; 1N^1 = Protón y 2He^4 = Helio - 4.

Fuente: Rev. ICyT., ed. CONACyT., Vol. 4, N° 63, febrero de 1982, p. 27.



Donde D es el núcleo del Deuterio - (isótopo del Hidrógeno), que contiene un protón (+) y un neutrón (+-); el resultado de la reacción es un átomo de Helio (He^3), (el cual es un isótopo del Helio), que contiene en el núcleo dos protones y un neutrón.



Donde T es el núcleo de Tritio (isótopo de hidrógeno que contiene un protón y dos neutrones, y p un protón resultante de la reacción.

La segunda reacción termonuclear que interesa en los experimentos es la siguiente:



Donde como resultado de la reacción se obtiene Helio con estructura atómica normal y n que corresponde a un neutrón liberado.

Esta última reacción puede ser realizada más fácilmente que la -- primera, pero exige la síntesis de Tritio que no existe en la tierra.

Estas dos reacciones vienen acompañadas de un colosal desprendimiento de calor; en la primera reacción por una gramo de gas se obtiene tanta energía como es posible al quemar unas diez toneladas de carbón mineral y en la segunda, catorce toneladas⁽¹¹⁵⁾.

Para que las reacciones de fusión nuclear se lleven a cabo se necesita de condiciones muy especiales para contener los materiales nucleares; de hecho, el contener dentro del reactor de fusión un plasma incandescente, plantea una infinidad de problemas técnicos a resolver, el más fuerte es el que se refiere a alcanzar una temperatura que propicia la fusión nuclear (como ya se mencionó, se requiere una temperatura cercana a los 110,000.000 de °kelvin).

Otro problema a solucionar se refiere a los materiales que deben constituir este reactor ya que a esa temperatura las propiedades físicas y químicas normales de los elementos se pierden y se logra incluso romper la estructura atómica. Por ello los modelos de reactores de fusión están hasta el momento orientados por el Sistema Tokamak.

Es necesario decir que, por el momento los reactores de fusión son modelos sujetos a comprobación experimental, y hasta ahora son el producto de la imaginación tecnológica. Lo más aproximado que el hombre ha construido parecido a la fusión es la bomba de -

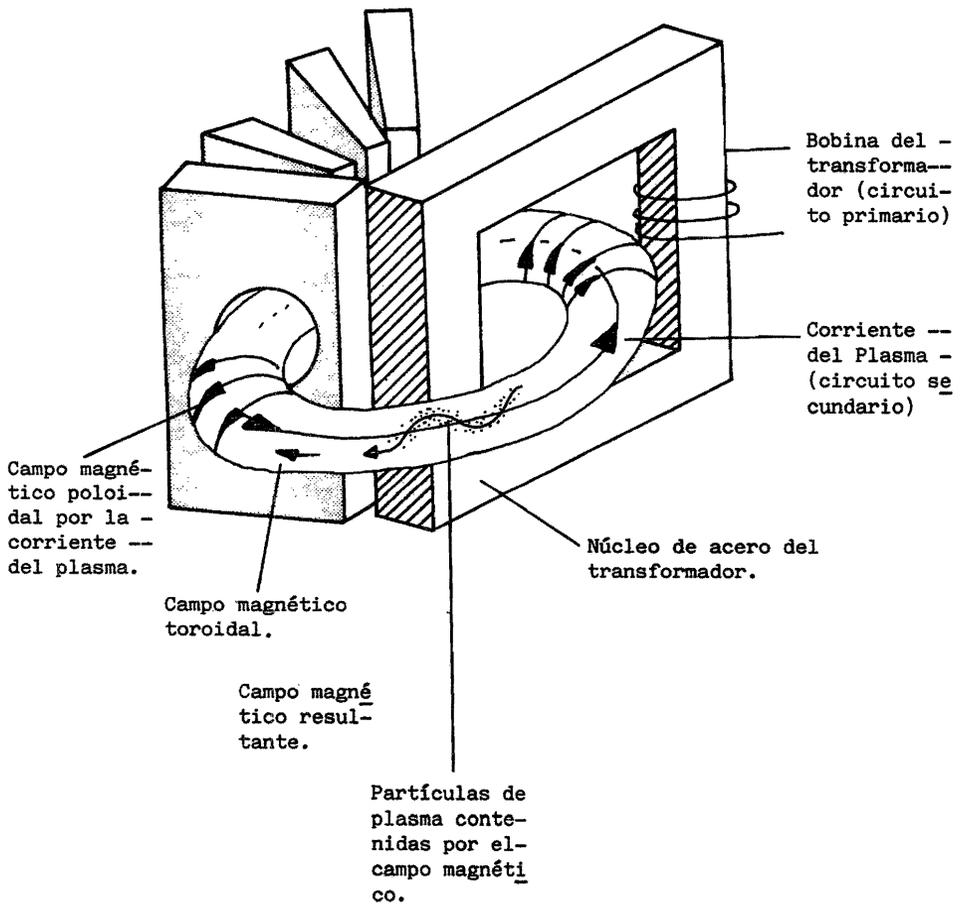
(115) Seminov, Nikolai., "Sobre La Energética Del Futuro", en la - Sociedad y el Medio Ambiente. Concepción de los Científicos-Soviéticos. ed. Progreso, Moscú, URSS., 1981; p. 119-120.

hidrógeno; sin embargo, el control del proceso de fusión en un reactor y el aprovechamiento de su energía permanece como una cuestión abierta.

El Tokamak es un recipiente en forma de rosca o anillo muy grande, en él, el plasma (el término plasma se utiliza para describir el gas formado en elevadísimas temperaturas, en él, los átomos están separados y forman iones; la estructura atómica se ha roto y éste gas se presenta como un conglomerado de iones, esto es, núcleos cargados positiva o negativamente, aún cuando se presentan como partículas eléctricas aisladas), se mantienen separados de las paredes gracias a un campo magnético muy potente. Dentro del reactor experimental el plasma se puede calentar por diversos procedimientos, dos de ellos son: el emplear una fuerte corriente eléctrica de varios cientos de miles de amperios y la otra, emplear el Rayo Laser para producir de manera inmediata una temperatura aproximada a la requerida (Véase la ilustración N° 18).

Dentro de éste reactor los materiales de la fusión forman el siguiente ciclo: "En la reacción de fusión, el Deuterio, y el Tritio se combinan para formar el Helio-4 (He^4) y un neutrón que queda libre. El neutrón se hace interactuar con Litio-6 (Li^6) para producir otro núcleo de Helio y un núcleo de Tritio, este último vuelve a fusionarse con el Deuterio, liberando energía, cerrándose así el ciclo de las reacciones". Dentro de este proceso los núcleos al alcanzar las temperaturas inicia la fusión denominándose

Configuración de bobinas alrededor del toro para producir el campo magnético toroidal.



a todo este proceso como fusión termo-nuclear⁽¹¹⁶⁾.

Se considera que los efectos dañinos de la radiación de la energía proveniente de la fusión será menos nociva que la generada -- por la fisión nuclear. En este esquema de trabajo se considera so lo la reacción Deuterio-Tritio por dos razones; la primera será la fuente de energía más probable; y segundo, produce una variedad me nor de materiales radiactivos.

Las reacciones de fusión nuclear solo pueden llevarse a cabo en -- los reactores de fusión termo-nuclear. El diseño de estas centra-- les no solo están determinado por las características de las reac-- ciones que se llevan a cabo en su interior; sino que, esta situa-- ción plantea problemas muy serios. Uno de ellos, se refiere a los materiales raros de los que esta construido el reactor como el Va nadio, Niobio y Molibdeno, pueden a la larga ser un factor que lí mite el desarrollo de estas construcciones⁽¹¹⁷⁾.

Otro factor a desarrollar es alcanzar la temperatura necesaria pa ra que estas reacciones se lleven a cabo, los avances en relación a esta situación está determinado por el Criterio Lawson, el cual considera que: "Un plasma confinado a una temperatura de 100×10^6 °K, resulta imposible teóricamente extraer más energía que la-- que se ha invertido en calentarlo y confinarlo, dicho criterio mí

(116) Fortes, M., Op. cit., p. 14-15.

(117) Foley y Nassim, Op. cit., p. 175.

nimo necesario es de 1.0×10^{14} segs/cm³". Hasta la fecha las experiencias que se han realizado han dado como resultado un valor del Criterio Lawson de 1.0×10^{13} , aproximadamente, lo que se traduce en un 1/10 de lo requerido⁽¹¹⁸⁾. Esta cita nos indica que dicha temperatura aún no se alcanza; empleando, por supuesto los recursos técnicos que se tienen en este momento.

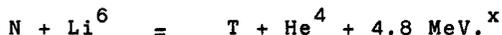
Otro factor de desarrollo de las centrales de fusión nuclear lo constituyen las materias primas sujetas a la fusión, las reservas cuantificadas a un nivel mundial indican que se dispone de suficiente material. Pease S. Randel lo cuantifica de la siguiente manera: el Deuterio constituye el 0.0033 % del agua del mar y representa una fuente inagotable desde cualquier punto de vista. El Litio existe en yacimientos bastantes ricos, de hasta 1 % de concentración en los siguientes medios: yacimientos minerales, lagos salados o aguas minerales, utilizando simplemente éstos depósitos - que equivalen a unos 100,000.000 de toneladas, podemos pensar que existe por ello bastante Litio para un consumo determinado a los próximos 200 a 500 años⁽¹¹⁹⁾.

Otro factor determinante de dicha fusión lo constituye la disposición de Tritio. El Deuterio, de cualquier manera, es componente natural del agua; pero el Tritio debe ser manufacturado a partir-

(118) Ibidem, p. 176.

(119) Pease S., Randel., "Las Promesas de la Fusión"., Rev. El Correo de la UNESCO. Energías para El Siglo XXI., ed. UNESCO., año XXXIV., México, 1981.

del Litio⁶, mediante un bombardeo de neutrones, este proceso está dado por la siguiente reacción:



N = neutrones

T = Tritio

MeV = 1.0×10^6 vatios de energía.

^x 4.8 Megavatios de energía equivalen a 4.8 millones de vatios.

La carga inicial de Tritio puede obtenerse en los reactores atómicos corrientes. El Tritio puede reproducirse en el curso de la reacción termonuclear a cuenta de los neutrones separados por ella. Con este fin es necesario envolver el reactor con una capa de combinaciones químicas de Litio, un 7 % de la composición del Litio es el isótopo Li^6 . Durante la reacción de neutrón, que se modera en la capa de Litio, se produce la reacción $n + \text{Li}^6 = \text{He}^4 + T$. El Tritio formado se separa y vuelve a utilizarse en el proceso principal. Además, de haber colocado entre el reactor y la capa un estrato que contiene Berilio, se produce otra reacción en la que de un neutrón se obtienen dos. Estos dos neutrones reaccionan con Li^6 y, como resultado, surgen dos átomos de Tritio. En este caso, la cantidad de Tritio formado no sólo compensa el Tritio gastado que, en principio, permite crear nuevos reactores termonucleares⁽¹²⁰⁾.

(120) Semionov, N., Op. cit., p. 120.

El proceso anterior responde a una concepción experimental basada en la perspectiva de poder obtener en el laboratorio, las condiciones físicas en las cuales se sucede el fenómeno de la fusión nuclear. Sin embargo, este año (1989), dos científicos han provocado serias polémicas en relación a los experimentados efectuados por ellos, en donde se menciona que han logrado una reacción a -- temperatura ambiente y que ellos han denominado como fusión en -- frío.

Stanley Pons, profesor de Química de la Universidad de Utah y Martin Fleishmenn, de la Universidad de Southampton, Reino Unido, -- afirman haber conseguido la fusión nuclear mediante un experimento muy parecido a la electrólisis, que separa los elementos componentes del agua, hidrógeno y oxígeno, por medio del paso de una -- corriente eléctrica⁽¹²¹⁾.

El experimento al parecer rompe con dos importantes barreras, -- pues la fusión nuclear se ha conseguido, de creer a dichos científicos, a temperatura ambiente y por un precio inferior al destinado a otros procesos de investigación sobre la fusión nuclear.

En el experimento se emplea agua pesada (D_2O), un electrodo formado por un delgado cilindro de paladio recubierto de una bobina de platino, y un inductor de corriente eléctrica alimentado por varias baterías de automóvil.

(121) Benet, Mercedes., "Fusión nuclear controlada y barata"., enperiódico, Uno más Uno., México, D.F., 27 - mayo - 1989.

Los átomos del Deuterio emigran hacia el Paladio, donde, al cabo de más de 10 horas, adquieren tal concentración que vencen las -- fuerzas magnéticas que los mantienen separados y empiezan a cho-- car entre sí, dando lugar a la fusión.

Dennis Keef, experto en fusión nuclear del laboratorio Laurence - Berkley, advierte que el experimento produce poco calor, fundamentalmente para hacer hervir agua que pone en acción los generado-- res eléctricos de una central nuclear, y no toma en consideración el comportamiento del Paladio (si en su interior se produce gran-- número de fusiones nucleares).

Este descubrimiento podrá utilizarse con relativa sencillez para la generación del calor y con miras de uso energético, pero se requiere un mayor estudio para que primero, se comprenda los principios científicos que entraña y segundo, su validez para la industria energética, ha comentado Fleishmann⁽¹²²⁾.

Por lo que respecta a la investigación sobre procesos de produc-- ción de energía a través del uso de la fusión nuclear, el autor - pensaba que tal actividad no se realizaba en la República Mexicana; sin embargo, la información emitida por la Secretaría de Energía y Minas, (mayo-1989), parece desmentir tal opinión ya que - - usando el proceso de fusión en frío ha llevado a cabo la corrobo-

(122) Benet, M. Op. cit., p. 27.

ración experimental propuesta por Fleishmann y Pons.

El contenido del comunicado es el siguiente: "Un grupo de científicos mexicanos logró desencadenar una reacción nuclear en frío - en un laboratorio del Estado, produciendo más energía que en cualquier experimento de este tipo realizado a la fecha informó el Gobierno de la República"⁽¹²³⁾.

El comunicado enviado por la Secretaría de Energía y Minas mencionó que un grupo de científicos del Instituto Nacional de Investigadores Nucleares, llevó a cabo con éxito en el laboratorio donde se ubica el acelerador de partículas atómicas Tandem Van Der - - Graaf, un experimento sencillo para producir fusión nuclear, aumentando con ello las perspectivas de uso en nuestro país de la fusión con la producción de energía".

Los especialistas produjeron la fusión, desencadenando una descarga de electrones; por medio de dos electrodos, uno de acero y - - otro de Titanio y Magnesio, sumergidos en una atmósfera enrarecida de Deuterio. Como resultado del experimento se produjo un flujo considerable de electrones por segundo, por lo tanto la presencia de dichas partículas subatómicas se considera como un indicio de la fusión.

(123) Comas Rodríguez, Oscar, "Fusión en Frío"., En periódico, En-Uno Más Uno. México, D.F., 26 de mayo de 1989.

El vocero oficial Felipe Chao dijo a United Press International - que el experimento liberó más neutrones y energía que cualquier - similar llevado a cabo en otras partes del mundo. Señaló que el - equipo de científicos que condujo el experimento estaba conforma- do por los físicos: Marcos Fernández; Armando Varela; José López- y Rafael Maggi.

4.2.3 La Investigación Sobre Fusión Nuclear y Perspectivas de Desarrollo.

El desarrollo de los reactores de fusión, representados experimentalmente por el Sistema Tokamak, han demostrado ser hasta la fecha la vía más segura hacia la obtención de energía a partir de la fusión nuclear. Actualmente se está terminando la construcción de cuatro de estos sistemas. El primero, el Tokamak Fusión Test Reactor (TFTR), en Princeton, EUA; el segundo, el Joint European Tours (JET), en Culham, Gran Bretaña; el tercero, el JT-60 en Japón y el cuarto, el T-5, en el Instituto Kurchatov, en la URSS.

Se ha formado un grupo internacional que estudia las reacciones de fusión, auspiciado por la Agencia Internacional de Energía Atómica, cuyo objetivo para 1990 es tener un Tokamak de ignición, el Internacional Tokamak Reactor (INTOR). Las investigaciones sobre la fusión también han sido retomadas por la iniciativa privada, por ello, empresas como la General Atomic tienen en experimentación el reactor Doublet III en la ciudad de San Diego, California USA, esperando sólo que alcance las condiciones de ignición⁽¹²⁴⁾.

Las investigaciones han progresado mucho desde la década de los setentas, para el año de 1987 se dedicó a esta actividad aproximadamente unos 1,000 millones de dólares, se pensó que, en esta dé-

(124) Tonda, Juan., "El Tokamak". Rev. ICyT. Vol. 4, N° 63, ed. -- CONACyT, México, febrero de 1982., p. 27.

cada quedaría demostrada la posibilidad técnica y científica en la fusión; sin embargo, atrasos en el plano técnico no han hecho posible tal proyección; por lo tanto, la producción de energía -- proveniente de la fusión nuclear sigue siendo hipotética.

Nuevas estimaciones⁽¹²⁵⁾, indican que dicha producción no será posible antes de 1995, y quizá haya que esperar hasta el decenio -- 2005-2015 antes de que realmente se puedan construir centrales -- termo-nucleares de fusión.

El Doctor Harold P. Forth quien, trabaja en las investigaciones -- donde se encuentra el Tokamak Fusión Test Reactor, opina lo siguiente: "En un reactor de Deuterio-Tritio, no puede darse una -- reacción incontrolada, pues tendría poco calor procedente de la -- radioactividad y produciría residuos poco peligrosos y de una vida media bastante corta⁽¹²⁶⁾.

Por ello es necesario mencionar que las fuentes radiactivas en este tipo de reactor provienen del Tritio y de los neutrones acelerados. Sin embargo, los riesgos de la fusión comparados con los -- de la fisión guardan una alta ventaja (aprox. 1:1000,000), otra -- es la breve vida media de los elementos radiactivos de fusión.

(125) Zaric, Z., Op. cit., p. 21.

(126) Tonda, J. Op. cit., p. 28.

Como resultado del anuncio de la fusión en frío que llenó de asombro y esperanza al mundo, se inició una verdadera polémica no sólo sobre la validez del experimento de Pons y Fleishmann, sino también sobre el registro de los datos, la interpretación, y si en realidad fue una reacción química de tipo inusual o un verdadero proceso físico; tanto el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), como el Tecnológico de California (Cal., Tech), han demostrado poseer serias interrogantes acerca de la interpretación y realización de la fusión en frío. La misma actitud se observa en los centros de investigaciones nucleares de las más prestigiadas universidades. Por otro lado la reconocida publicación británica Nature, se negó a publicar el reporte de la investigación de Pons y Fleishmann y lo sometieron a revisión, por considerarlo falso de datos y sin evidencias de confrontación de resultados⁽¹²⁷⁾.

(127) Comas R., Oscar., Op. cit., p. 17.

4.3 LA ENERGIA GEOTERMICA.

4.3.1 Antecedentes Historicos del Uso de la Energía Geotérmica.

El inicio de la explotación de los recursos geotérmicos surge a fi nes del siglo XVIII en la región de Larderello, Italia, como consecuencia de la extracción del ácido bórico a partir de las fuentes-naturales geotérmicas, en la misma región, en el año de 1832 adqui rió carácter industrial con la perforación de los dos primeros pozos.

Al obtener resultados positivos de la explotación de los recursos de la planta, se continuan realizándo estudios para el aprovechamiento del vapor a mayor escala, y así se instalan en el año de -- 1914 los primeros equipos de turbogeneradores con una potencia de 275 Megawatts; para el año de 1930, cuando se inicia la perforación de pozos de más de 300 mts. de profundidad y se desarrollarán las plantas geotérmoelectricas de la zona, que en la actualidad al canzan una capacidad conjunta de 370 Megawatts.

Las experiencias obtenidas en la región de Larderello, fue motivo para que en los países que tienen la potencialidad de generar este tipo de energía, e iniciar proyectos de investigación y explotación en aquellos lugares de uso potencial.

En Islandia durante varios años las investigaciones geotérmicas -- realizadas han sido muy importantes para la utilización del vapor-

endógeno, aunque debemos mencionar que principalmente se aprovecha el agua caliente obtenida de los pozos. Según especialistas de ese país, el aprovechamiento más importante se hace de la zona hidrotermal que se localiza a 16 km. al noroeste de Reykjavik. Esta ciudad se abastece de agua caliente, que es utilizada en la calefacción doméstica y para invernaderos en donde se recibe el agua a una temperatura de 84°C.

Respecto a la producción de energía geoelectrica, esta se lleva a cabo en pequeña escala, ubicándose la planta principal en Namafjall, con una producción superior a 2.5 Megawatts⁽¹²⁸⁾.

Japón es un país eminentemente volcánico en cuya superficie aparecen infinidad de fuentes hidrotermales. En Matzakawa se han perforado numerosos pozos con bastante éxito, en los cuales se han instalado unidades turbogeneradores con una capacidad mayor de 20 Megawatts. Las principales zonas geotérmicas en Japón se localizan en las islas de Honsu, Kyushu y Hokkaido.

En Nueva Zelandia, los habitantes de diversas regiones han utilizado el calor de las fuentes hidrotermales en forma tradicional para cocinar sus alimentos. En épocas más recientes y debido a la influencia europea, el agua caliente de los manantiales se han es

(128) López Flores, Guillermo y Guzmán Vargas, Alvaro. "Aportaciones Geográficas al Estudio de la Geotérmica en México". Tesis UNAM. México, 1986, p. 8-9.

tado utilizando en la calefacción. Los primeros estudios efectuados para aplicar el vapor endógeno a la industria se llevaron a cabo en el Distrito de Rotorua-taupo; posteriormente debido a razonamientos de orden económico, se decidió en el año de 1949 que las investigaciones se realizen en el área de Wairakei por considerarla como una región típica de fuentes hidrotermales⁽¹²⁹⁾.

En Estados Unidos de América, existen numerosas zonas hidrotermales, entre los principales se encuentran los de Steamboat cerca de Carson City, Nevada; otra área es la del Yellowstone Park en Wyoming; además de las regiones anteriores, en el Estado de California se localiza la zona geotérmica de los Geysers a 80 km. al norte de la ciudad de San Francisco; también en otros estados de la Unión Americana hay zonas de atractivo geotérmico como en Oregón, Nuevo México, Idaho, Utah, Montana, Texas, Luisiana y el Archipiélago de Hawaii; es importante mencionar que la primer planta en los Estados Unidos comenzó a funcionar en 1960 en la zona de los Geysers, California.

En la Unión Soviética, los estudios de geotérmica se han concentrado en la región de Kamchatka, en donde se han efectuado perforaciones con magníficos resultados, contando actualmente con una capacidad instalada de más de 12 Megawatts.

(129) López, G. y Guzmán, A., Op. cit., p. 10.

En la República Popular de China, la región Autónoma del Tibet, - especialmente en el distrito de Cona al norte de los Montes Himalaya, es la zona eminentemente geotérmica, cuenta con más de 600 - focos termales, casi todos sus habitantes tienen sus termas domés-ticas. Se le considera a esta zona como la más importante en lo - que respecta a los recursos geotérmicos. En esta región funciona- la central geotermoeléctrica de Yangbajain, la mayor de su tipo - en el país.

En la República del Salvador el desarrollo alcanzado en la explo- ración y explotación de la energía, se manifiesta principalmente- en las regiones: Ahuachapan, Sta. Rosa de Lima, Cuenca del Río -- Totola, El Guayabo, en la cuenca del río Lempa. Actualmente, su - capacidad de producción instalada es mayor de 95 Megawatts ⁽¹³⁰⁾.

México cuenta con una larga experiencia en geotermia, esta activi-dad en el país se inició desde la década de los años cincuentas, - cuando se instaló la primera planta geotermoeléctrica del Conti-- nente Americano en Pathé, Hidalgo en 1959, con una capacidad de - generación de 600 Kwh. Actualmente esta planta está en desuso, pe- ro paralelamente se había iniciado la perforación exploratoria en Ixtlán de los Hervores, Michoacán y en Cerro Prieto, Baja Califor-nia. En este último lugar, en 1959 se perforó el primer pozo ex-- ploratorio, en 1964 se confirmó la presencia del recurso geotérmi-co comercialmente aprovechable, y en 1973 se inicia la generación

(130) Alonso E., Héctor. "La Energía Geotérmica en el Salvador". - Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, tomo XXVIII, N^o 2, 1965, p. 75.

de energía eléctrica con dos unidades de 37,000 kilowatts ⁽¹³¹⁾.

En la actualidad la República Mexicana cuenta con 4 campos geotérmicos y aproximadamente detectadas 1400 manifestaciones termales, excluidos los campos geotérmicos de Cerro Prieto en Baja California; Los Azufres, Michoacán; Los Humeros, Puebla y La Primavera, Jalisco (Véase el mapa N° 2).

La actividad exploratoria con fines geotérmicos en México se desarrolló en forma ininterrumpida desde fines de la década de los se te n t a s, cuando al interior de la Comisión Federal de Electricidad se creó formalmente un núcleo de profesionistas dedicado exclusivamente a esta actividad, que actualmente esta integrado en la Ge re n c i a d e P r o y e c t o s G e o t e r m o e l e c t r i c o s, creada en 1982. Esta ge re n c i a co n c e n t r a t o d a s a c t i v i d a d e l o s g e o t e r m i a e n M é x i c o, desde la exploración geológica y geoquímica, hasta la construcción de las centrales geotermoeléctricas, pasando por la perforación de pozos geotérmicos, la evaluación y el modelado matemático de los yacimientos, las pruebas en los mismos, los estudios de prefactibilidad y el diseño de las instalaciones y centrales.

(131) Gutiérrez Negrín, Luis C. "Geotermia: Fuente de Energía al Alcance de México". Rev. Ciencia y Desarrollo. ed. CONACyT., XIII - N° 73, México, Marzo-abril de 1987, p. 37.

Mapa N° 2



Figura 2. Localización de los cuatro campos geotérmicos de México, perforados hasta junio de 1986

El mapa ilustra la localización de los cuatro principales campos-geotérmicos en la República Mexicana, según las perforaciones -- efectuadas por la CFE hasta junio de 1986.

Fuente: Revista, Ciencia y Desarrollo, ed. CONACyT, marzo-abril - de 1987, N° 73, año XIII., p. 39.

Existen además, grupos de investigación dedicados a la geotermia-
en el Instituto de Investigaciones Eléctricas del IPN y en la - -
UNAM⁽¹³²⁾.

(132) Gutiérrez, L., Op. cit. pp. 37 y 38.

4.3.2 Los Usos y el Aprovechamiento de la Energía Geotérmica.

Etimológicamente, geotermia se refiere al calor existente en el interior de la tierra; sin embargo, es importante diferenciar entre la energía geotérmica y su potencia energética; siendo esta primera la proveniente del interior de la tierra; y la segunda, a la factibilidad de obtener algún tipo de energía de éste fenómeno natural.

Para iniciar el estudio de aprovechamiento de éste recurso energético, se tomará el punto de vista de los autores Foley y Nassim en relación a este fenómeno: "Cada metro² de superficie de éste planeta irradia hacia la atmósfera unos 0.06 vatios, lo cual, desde luego, no es suficiente para que lo pueda percibir un ser humano, pero sí para que el planeta se enfriará hasta la temperatura del espacio en el "breve" plazo de 200 millones de años. El hecho de que la tierra tenga aproximadamente 4,500 millones de años supone que se abastece de energía de su interior. Esta puede proceder del calentamiento provocado por la descomposición radiactiva de algunos elementos que constituyen las rocas, siendo por ello, otra forma de energía nuclear⁽¹³³⁾.

La energía geotérmica se concentra en ciertas partes de la corteza terrestre. Las macroregiones que tienen más posibilidades, des

(133) Foley y Nassim, Op. cit., p. 200.

de un punto de vista de aprovechamiento del recurso, son aquellas donde concurren las denominadas Placas Tectónicas (donde se unen, separan o cabalغان entre sí), que permiten la manifestación del fenómeno.

El origen exacto del calor interno de la tierra es aún una cuestión sometida a debate. En general, se piensa que un 80% proviene de la desintegración de los materiales radiactivos p.e. el uranio, torio o sus derivados. El 20% restante, sería el calor residual de la formación de la tierra. El índice del flujo térmico o calorífico es extremadamente bajo: aproximadamente 0.0015 KW por día/m²(134).

El incremento del calor interno de la tierra esta determinado por el gradiente geotérmico, el cual hace referencia al incremento -- del calor en las capas internas de la tierra, éste calor aumenta uniformemente de 3 a 4°C cada 100 metros de profundidad; esta situación sólo se equilibra cuando, existen muy cercanas a la superficie, anomalías tectónicas producidas en un tiempo geológico cercano o fenómenos volcánicos recientes.

El calor generado es transportable por convección a las rocas de la superficie y a los manantiales, los geysers y otras acumulaciones de agua que entran en contacto con una superficie rocosa -

(134) Foley y Nassim. Op. cit. p. 200.

adecuadamente caliente o con el cuerpo magmático directamente.

Además de las calderas, existen numerosas zonas en las que se encuentran geysers, charcas de lodos calientes, fumarolas o manantiales de aguas calientes; éstas manifestaciones reciben el nombre genérico de termales, y obedecen al calentamiento de aguas infiltradas hasta la cercanía de un cuerpo ígneo próximo a la superficie. La mecánica del proceso se ha explicado como infiltración de aguas de lluvia a una profundidad de pocos kilómetros, y a través de grietas o afallamiento, el calor del cuerpo ígneo se comunica a las aguas frías que vienen de la superficie creando presiones suficientes para mandar hacia arriba el fluido caliente y establecer así un patrón de circulación determinado⁽¹³⁵⁾. Los cuerpos de agua, lo mismo que las rocas pueden ser susceptibles de aprovecharse como un recurso energético para la obtención de agua y aire caliente para la calefacción, o bien el agua a muy alta temperatura para mover las turbinas generadoras de electricidad. Estas, son en sí, las formas más generalizadas de aprovechar la energía geotérmica.

Hasta ahora, la utilización de la energía geotérmica, para el caso específico de la calefacción ha tenido un carácter local. En efecto, por razones de rentabilidad en el transporte del agua caliente hasta el consumidor no puede exceder de 5 minutos. De to--

(135) Alvarez, Román, "La Geotermica y Alternativas Energéticas de México". Rev. Ciencia y Desarrollo, ed. CONACyT, Vol. II, N° 10, México, Septiembre-octubre de 1976, p. 11.

dos modos, como aproximadamente el 40% de la energía consumida -- por la humanidad esta destinada a calentar hogares y proporcionar les agua caliente, el aludido carácter local no resta importancia al empleo de la energía geotérmica⁽¹³⁶⁾.

Sólo se puede aprovechar la energía geotérmica cuando esta relati vamente cerca de la superficie de la tierra, que es lo que suele- ocurrir en las regiones volcánicas en las cuales es frecuente la- actividad sísmica⁽¹³⁷⁾.

Los yacimientos geotérmicos para ser explotados en las diversas - formas que pueda ser usada esa energía, requieren de la combina-- ción de una serie de factores geológicos, entre los más importan- tes son: Primero, que contengan una fuente natural de agua subte- rreana; segundo, que el interior de la corteza terrestre esten -- conformadas por una capa superior que atrape el agua y permita la formación de vapor; y tercero, que se encuentre o haga contacto -- con una masa de roca caliente o magma cercana al sistema natural- de agua. Es conveniente comentar que, sólo en ocasiones excepcio- nales concurren estos factores en la misma zona. (Véase la ilus-- tración 19).

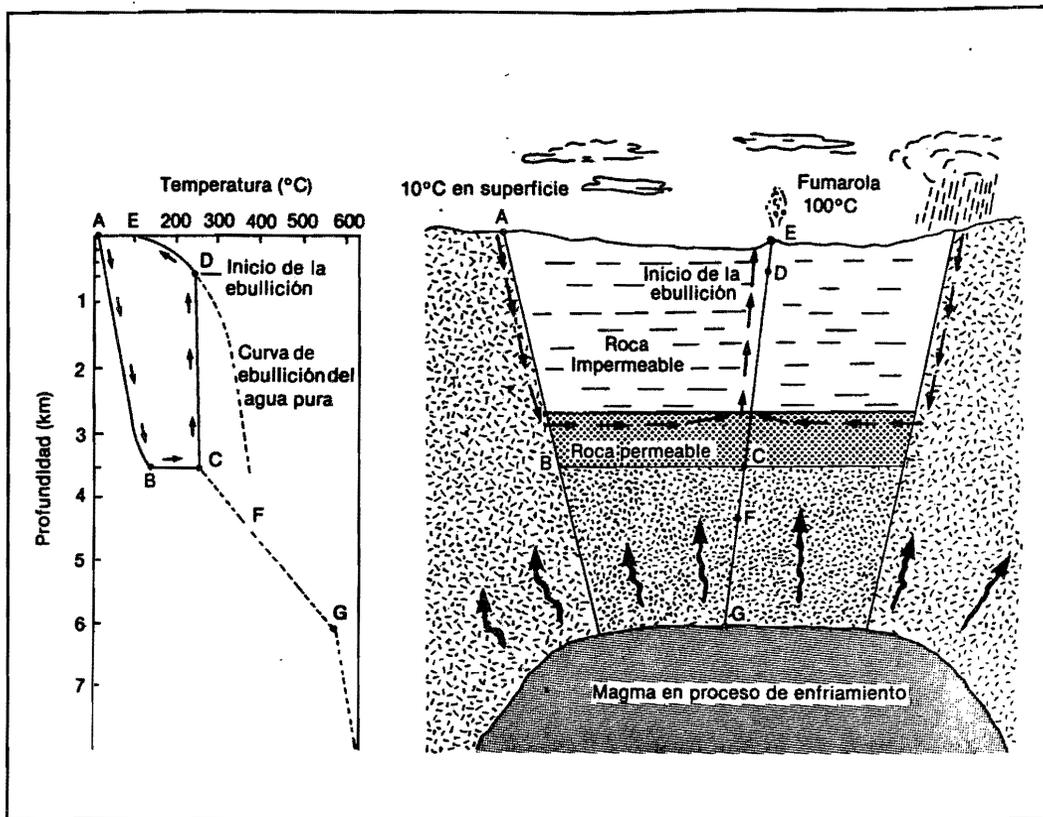
La fuente de energía geotérmica, para su aprovechamiento en la -- producción de electricidad, lleva la misma mecánica que otras - -

(136) Haenel, R., "Las Fraguas de Vulcano", Rev. El Correo de la - UNESCO, México, Año XXXIV, Agosto de 1981, p. 24.

(137) Zaric, Z. Op. cit. p. 23.

Ilustración N° 19

Esquema que representa la circulación del agua subterránea y el contacto de esta con un cuerpo magnético para formar los yacimientos geotérmicos y sus manifestaciones termales superficiales.



Fuente: Rev. Ciencia y Desarrollo., ed. CONACyT., marzo-abril de-
1987, N° 73, año XIII, p. 36.

fuentes de energía como la hidroeléctrica o la núcleo-eléctrica, sólo que aquí se emplea el vapor seco o el húmedo, directamente para mover las turbinas de la central eléctrica, en donde el resultado final, es en sí, la producción de electricidad, la que posteriormente se distribuye a través de los medios convencionales.

Como se considera que esa zona de producción de energía geotérmica es un recurso no renovable, los factores que intervienen en su agotamiento están dados por las siguientes situaciones:

- En las zonas de explotación subterránea, el índice de pérdida energética externa, se compensa de manera aproximada con la ganancia energética del interior de la tierra, por lo que el sistema puede permanecer activo durante un largo tiempo, aún cuando su intensidad disminuya gradualmente. El depósito de un geyser, por ejemplo, puede durar entre uno y diez mil años, mientras que los manantiales termales de baja temperatura poseen una vida mucho más larga.
- Las propiedades minerales de los manantiales termales, se convierten en un verdadero inconveniente, cuando se les pretende utilizar para la generación de electricidad, debido a su contenido mineral; la dificultad estriba en que, el agua caliente a presión es un solvente poderoso, al liberar dicha presión el agua sale disparada como vapor y los minerales quedan deposita-

dos en los bordes del pozo, reduciendo su diámetro. Por ello, - en las centrales geotérmicas, se vuelven a perforar los pozos - cada siete u ocho años, a fin de que la salida de vapor adquiera el tamaño deseado.

- Las aguas que desecha la instalación geotermoeléctrica todavía - siguen siendo ricas en minerales, por lo que pueden causar da-- ños graves al suelo y agua al contaminar el curso de los ríos.

Con base a lo anterior, y de manera pragmática, se han organizado dos sistemas de explotación de los recursos derivados de la energía geotérmica: El sistema denominado Hot Dry Rock (utilización - de rocas secas de alta temperatura), y el procedimiento denominado Warm Dry Hot (utilización de rocas saturadas calientes) que -- permitiría aprovechar la energía contenida en las rocas a temperaturas menos elevadas.

El sistema Hot Dry Rock, consiste en realizar una perforación hasta la zona en que las temperaturas alcanzan los 250°C ó más. A esta profundidad las rocas que ya no contienen agua, son perfecta-- mente secas; si por la tubería perforada se introduce agua a alta presión, la roca del fondo se quiebra, produciéndose una fisura - de varios kilómetros. Después se realiza otra perforación hasta - esa fisura, lo más lejos posible de la primera; se introduce en-- tonces agua fría por la primera tubería, el agua se calienta hasta alcanzar temperaturas de 200 a 250°C y asciende a la superficie -

por la segunda tubería. La disminución de la presión durante el ascenso convierte al agua caliente en vapor, que puede utilizarse ahora en la producción de energía eléctrica.

Este procedimiento se ensayó por primera vez en los Alamos, Estados Unidos, la parte problemática de dicho proceso, radica en como alcanzar, mediante una perforación a gran profundidad esa fisura, que es estrecha y vertical; además, aún no se ha conseguido regular la velocidad y la cantidad de agua que pasa a través de la fisura y, por consiguiente la producción de energía.

Puede mencionarse que este prospecto, lo mismo que el Warm Dry -- Hot esta aún sujeto a la fase experimental y que no existe ninguna planta geotermoeléctrica que haga uso de esta técnica.

En Gran Bretaña y Suecia se examina el procedimiento denominado Warm Dry Hot. En Islandia y Alemania se intenta sustituir la creación de una fisura artificial utilizando una fisura natural situada a gran profundidad y que sin embargo, ya contenga agua; por ejemplo, en la Fosa Tectónica del Rhin⁽¹³⁸⁾.

Desde la perspectiva del uso de la energía procedente del interior de la tierra, los anteriores procedimientos son en los que se están aplicando las técnicas más novedosas en la explotación -

(138) Haenel, R., Op. cit., p. 24-25.

de este recurso; la otra parte la constituye la creación tecnológica aplicada a la construcción de los generadores tipo.

4.3.3 La Investigación y Perspectiva de Desarrollo de la Energía Geotérmica.

La geotérmia no solo se ha desarrollado en países de alta tecnología como Japón, Italia y Estados Unidos, también lo ha hecho, con características propias, en países cuyas tecnologías no son tan avanzadas, como Nueva Zelanda, Indonesia o México; esto se debe a que, probablemente no habiendo todavía cuerpos de teoría, de explotación y técnica geotérmica bien establecidos, por lo nuevo de esta disciplina el desarrollo teórico y tecnológico se realiza -- con espontaneidad por todos lados⁽¹³⁹⁾.

En la actualidad no existe aún la necesidad de almacenar el calor producido por la energía geotérmica; si se desea almacenarla sería necesario tener en cuenta que los yacimientos de tipo permeable son un almacen de calor. Ahora bien, también puede almacenarse toda esa energía calorífica en forma de agua caliente, ya sea en formaciones permeables, cavernas producidas por la explotación de la sal, fracturas de rocas más o menos cercanas a cuerpos calientes en domos salinos y otras estructuras; lo que es importante saber es que sí existen formas de almacenar este tipo de energía.⁽¹⁴⁰⁾

El conocimiento y evaluación actuales del potencial geotérmico pa

(139) Alvarez, R., Op. cit., p. 8.

(140) Cantarell, A., Op. cit., p. 22.

ra la producción de electricidad ha permitido clasificar a las reservas geotérmicas en; probadas, probables y posibles. ⁽¹⁴¹⁾

Por reservas geotérmicas probadas, se entiende como la potencia - que se puede instalar asegurando una operación continua mínima de 20 años; para hacer esta afirmación se entiende que ya se han realizado perforaciones de explotación y producción además, se ha simulado el yacimiento mediante modelos matemáticos.

Las reservas geotérmicas probables, son aquellas fuentes en las - que mediante estudios geofísicos y geoquímicos se han podido cuantificar de manera aproximada el volúmen y la energía térmica almacenada en el yacimiento.

Como reservas posibles, se consideran aquellas que se pueden estimar examinando los inventarios de las manifestaciones superficiales y otras anomalías térmicas.

Las perspectivas del desarrollo en cuanto al aprovechamiento de - la energía geotérmica son bastante halagadoras, ya que existen estimaciones que consideran que, si bien este tipo de energía no va a ser el más importante dentro de los países que tienen la potencialidad de usarla, si puede contribuir de una manera modesta, --

(141) López, G. y Guzmán, A. Op. cit. p. 10.

aunque significativa, a ampliar las reservas de producción de --
eléctricidad de manera básica y de otros productos derivados de --
ella de manera secundaria.

El cuadro que ha continuación se presenta (véase el cuadro 3), re
presenta una perspectiva de lo que puede aportar esta alternativa
energética en los países enlistados. La importancia de su uso va-
ría según el país, dándose el caso p.e. para países como Japón, --
Francia, Los Estados Unidos, o la URSS, en donde el aporte de la-
energía geotérmica proporciona menos del uno por ciento de su con
sumo energético; o en el caso extremo de El Salvador o Nicaragua,
en donde el aporte energético de la energía geotérmica representa
el 40 y el 60 por ciento de la energía que consumen dichos países
respectivamente.

De este tipo de aprovechamiento se benefician ya 18 países. En --
1975, la potencia eléctrica con base en esta fuente de energía se
elevaba a 1191 MW(e). (El informe del WAES, menciona que para ese
mismo año, el total de la capacidad de generación de electricidad
de la energía geotérmica alcanzó 1,400 megawatts). Por supuesto,--
la potencia no eléctrica, la de las aguas utilizadas para la cale
facción, era de 6340 MW(e). La energía total utilizada, era pues-
de unos 7500 MW(e), cifra que corresponde a la producción de sie
te grandes centrales nucleares. (142)

(142) Haenel, K., Op. cit. p. 25.

Cuadro N° 3

Capacidad Mundial Instalada y Predicciones para el año 2010.				
P a í s	Capacidad instalada en Megawatts			
	1985	1990	2000	2010
EE.UU	932	4000	7000	10,000
FILIPINAS	501	1500	3000	4,000
ITALIA	446	600	800	1,000
JAPON	220	2000	4000	5,000
MEXICO	205	1800	4600	7,000
NUEVA ZELANDIA	202	300	600	1,000
EL SALVADOR	95	300	500	600
ISLANDIA	41	80	100	200
NICARAGUA	30	60	150	300
INDONESIA	32	300	600	1,000
KENIA	15	90	60	150
URSS	11	300	500	1,000
CHINA	2	150	350	500
TURQUIA	0.5	100	200	250
FRANCIA	-	500	100	500
COSTA RICA	-	100	400	600
CHILE	-	50	200	300
ETIOPIA	-	30	100	200
TOTAL	2734	10,910	23,060	34,200

Fuente: L. Flores y G. Vargas, Op. cit. cuadro 2 p. 11 bis.

Para el año de 1985 son 17 los países que contienen dentro de sus programas de uso de la energía geotérmica cuando menos una unidad de producción geotermoeléctrica, produciéndose en total de - - - 4,763.9 megawatts de energía eléctrica.

Por lo tanto, puede mencionarse que, el crecimiento de la explotación de este recurso desde 1979 año en que la producción mundial fue de 1,758.9 megawatts, hasta la del año 1985, que fue de - - - 4,764.9 ha aumentado porcentualmente en un 171% en el lapso de la década. (143)

La mayoría de las exploraciones sobre a la explotación de nuevas geotérmicas se llevan a cabo a través de estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos, pero últimamente se está utilizando la fotografía infraroja para detectar los cuerpos potenciales; por lo tanto dichas investigaciones parecen revelar que los depósitos -- geotérmicos más importantes se encuentran distribuidos de la forma siguiente: En Asia, las principales zonas se encuentran en Turquía y la costa del Océano Pacífico; en Africa, principalmente en el Valle de Rift, que se extiende a lo largo de Africa Oriental; en América, desde Alaska a tierra de fuego en Chile, en la costa del Océano Pacífico; Europa posee numerosos baños termales principalmente en la región oriental del continente, por lo tanto, no tendrá nada de extraordinario que existan importantes campos geo-

(143) Gutiérrez, L., Op. cit. p. 37.

térmicos en el subsuelo del continente incluyendo a las Islas Británicas.

Las perspectivas en cuanto al uso de los recursos provenientes de la energía geotérmica son amplias y no se reducen a la generación de electricidad. En los diversos campos geotérmicos que existen - en el mundo, se están realizando numerosas actividades con base - al uso del vapor endógeno, aplicados a la industria, agricultura, ganadería, silvicultura, acuicultura, así como en los aspectos re- creativos, curativos o medicinales. Todas estas experiencias po- drían considerarse susceptibles de aplicarse a nuestro país, ya - que en del marco energético de uso potencial. Entre dichas activi- dades se destacan las siguientes:

. Aplicaciones en la industria:

- Química
- química-madedera
- química-azucarera
- química-alimenticia
- química-mineral

. Aplicaciones agricultura:

- En calefacción de invernaderos
- En secado de granos y semillas

. Aplicaciones en la ganadería:

- En calefacción de establos

. Aplicaciones en la acuicultura:

- Calefacción de instalaciones
- . Aplicaciones en el turismo:
 - Balnearios
- . Aplicaciones diversas.

La energía geotérmica llamada por algunos especialistas "La Energía Limpia", presenta ciertos problemas de contaminación un tanto diferentes a los ocasionados por el uso de los combustibles fósiles o nucleares, razón por la cual se le ha dado ese nombre; sin embargo, en la práctica si no se puede disponer adecuadamente de los desechos se provoca contaminación de cierta gravedad, que pueden llegar a ser un factor limitante en el uso del recurso.

En los sistemas geotérmicos las causas principales de la contaminación son: El agua, el vapor y la mezcla de ambos. (144)

El sistema geotérmico que presenta mayor grado de contaminación, es el del agua, por su mayor contenido de sales; el de vapor es de menor contaminación, pero es muy notable por los gases tóxicos que contiene en su composición.

Entre los aspectos adversos que pudiesen ocasionarse por el vertido de aguas residuales geotérmicas se pueden citar los siguientes:

(144) López, G. y Guzmán, A., Op. cit., p. 117.

- Alteración de las condiciones naturales en los ecosistemas acuáticos regionales.
- Disminución de la calidad del agua.
- Cambios ecológicos en la flora y fauna regionales.
- Alteraciones en los recursos edafológicos.
- Peligro en la Salud Pública.

En los sistemas geotérmicos con predominio de vapor, los gases -- que se disipan a la atmósfera, representan los principales contaminantes, tales como CO_2 , NH_4 , H_2S , siendo el más importante éste último, el cual es dispersado a gran altura cuando su contenido es bajo, o mediante conversión en Azufre o Sulfatos cuando su contenido es elevado, o bien cuando las normas sobre contaminación ambiental son muy estrictas.

En relación a la contaminación del medio ambiente circundante, es decir, principalmente a los terrenos de cultivo y cuerpos de agua debido a la presencia de salmueras; se puede afirmar que sus efectos son mínimos ya que por lo general en las áreas geotérmicas estas sales se depositan en lagunas de evaporación, se reinyectan, o se envían al mar. (145)

Es conveniente mencionar que una vez que se tengan totalmente bajo control los contaminantes derivados de los fluidos geotérmicos

(145) Ibidem. p. 119.

se podrá decir, que la energía geotérmica es una energía limpia,-
pero por lo pronto es conveniente comentar que es una de los que-
menos contaminación causan al ambiente. (146)

(146) Ibid. p. 126.

4.3.4 La Investigación y Desarrollo de la Tecnología Aplicada al Aprovechamiento de la Energía Geotérmica en la República Mexicana.

Las experiencias que en el campo de la geotermia se ha tenido tanto en Italia como Islandia, sirvieron de estímulo a los investigadores mexicanos, para aprovechar de una manera similar los recursos geotérmicos que existen en nuestro país, llevándose a cabo en 1951 los primeros trabajos en la zona de Ixtlán de los Hervores e iniciándose con ello la exploración de éste recurso energético en nuestro país. (147)

A mediados de la década de los cincuentas, en el año de 1955, y después de establecerse un fideicomiso constituido por el Banco de México, S. A., La Nacional Financiera, S. A. y la Comisión Federal de Energía, (148) se constituye un fondo económico con el cual se han llevado a cabo exploraciones en la zona de Pathe, Hgo., iniciadas el 17 de agosto de 1955; y continuadas hasta la fecha, en este mismo año se instaló una planta geotérmica experimental de 3,500 Kilowatts.

Con base a estos trabajos preeliminares y considerando los resultados obtenidos, "El Gobierno Federal para salvaguardar los intereses de la Nación, estableció por acuerdo presidencial, el decre-

(147) Ibidem. p. 3

(148) Ibid. p. 16.

to del 31 de diciembre de 1956, sobre la ley reglamentaria, párrafo quinto del artículo 27 constitucional en materia de aguas del-subsuelo las que quedarán a favor de la nación en estado de vapor a temperaturas mayores de 80°C con preferencia para la Comisión - Federal de Electricidad". (149)

El 18 de enero de 1958 debido a las investigaciones y trabajos -- realizados por la Comisión de Energía Geotérmica, se obtuvo vapor de agua en la zona de Ixtlán de los Hervores, Mich., y el 16 de - julio de 1961 en el campo geotérmico de Cerro Prieto, Baja Cali-- fornia.

Posteriormente, se efectuarón trabajos experimentales en Los Azu- fres, Mich., San Marcos y La Primavera en Jalisco y en la región- de los Humeros-Derrumbadas, en la Sierra del Norte de Puebla, en- el mismo estado.

En la década de los años sesenta y casi toda la de los setentas - son diversos los caminos que siguen tanto la investigación del po- tencial geotérmico del país, como el aprovechamiento de éste mis- mo recurso.

Para el caso de la investigación del potencial geotérmico del - - país, de la decena de fuentes termales localizadas al inicio de -

(149) Ibid. p. 16.

1950, se siguió avanzando en la localización de otros, aprovechando las innovaciones que en materia geofísica y geoquímica se llevaron a cabo; por ello a fines de la década de los sesentas ya se tienen localizados más de 70 de estas fuentes, y para el año de 1976 se cuenta con una información de 104 fuentes termales en el territorio Nacional. A mediados de la década de los ochentas ya se tienen ubicados más de 400 fuentes termales los cuales alcanzan una distribución geográfica que se extiende a casi todos los estados de la República Mexicana.

La actividad referida a la explotación de las fuentes geotérmicas se continua en el año de 1973 con la construcción de la planta -- geotermoeléctrica de Cerro Prieto, Baja California que marca la -- primera fase en el desarrollo del complejo, continuándose las siguientes fases en 1984 y 1985, año en el que alcanza una producción de 620 megawatts.

Asimismo se han instalado en los campos de Pathe, Hgo. y Los Azufres, Mich., un tipo de generadores eléctricos portátiles de baja potencia con objeto de moverlos en caso de que la emisión de vapor o agua caliente cese de manera rápida o paulatina.

No se puede olvidar que existe un uso de la energía geotérmica -- que, quizá, fué el primero que se utilizó; es el referido al aprovechamiento del vapor y el agua caliente del subsuelo con objeto de utilizarlo de una manera variada como: aprovecharlo con fines-

terapéuticos o medicinales, en la construcción de baños termales- y otros usos, situaciones que son comunes en México desde tiempos prehispánicos y cuya práctica continua hasta nuestros días.

Las fuentes geotérmicas en la República Mexicana se localizan fundamentalmente en dos accidentes tectónicos, esto es, en dos grandes deformaciones de la corteza terrestre que ocurren en nuestro país: La Sierra Volcánica transversal y los centros de dispersión alojados a lo largo del Golfo de California (véase el mapa núm. - 3). Es importante mencionar que en la vecindad de esta sierra se encuentra ubicada la mayoría de la población Mexicana, aquí se localizan las Ciudades de México, Guadalajara, Puebla, Toluca, Querétaro, Pachuca, Tlaxcala, Guanajuato, León, Morelia, Tepic y Colima, por mencionar solo las más populosas.

Con excepción de la ciudad de Monterrey, los núcleos industriales más fuertes se localizan igualmente dentro de la Sierra Volcánica Transversal, esta situación implica que la mayor demanda de energéticos se de también dentro de este espacio geográfico. (150)

Para poder evaluar los recursos geotérmicos nacionales debemos -- primero catalogar las manifestaciones termales en la superficie, -- ya que éstas invariablemente estarán asociadas a cuerpos de temperatura elevada.

(150) Ibid., p. 18.

Una vez localizados los indicios superficiales de actividad geotérmica se requiere determinar la posición y dimensión del cuerpo ígneo que los genera, para detectarlos desde la superficie, sin recurrir a perforaciones directas, sino que se llega a otras etapas finales de exploración.

Una vez localizada la zona productora de vapor o agua caliente se perforan pozos de producción y por ellos se extrae el vapor del yacimiento geotérmico, el cual es enviado a las turbinas generadoras de electricidad.

La institución que más dedicación le han proporcionado al desarrollo de la energía geotérmica, ha sido básicamente la Comisión Federal de Electricidad, la cual ha llevado a cabo los trabajos de investigación, exploración y explotación de las regiones potenciales para este uso; además, ha realizado importantes actividades en el diseño y construcción de las innovaciones tecnológicas adecuadas a la explotación de éste recurso energético.

Es necesario observar que gracias al funcionamiento exitoso de la central geotermoeléctrica de Cerro Prieto, B. C., Los Estados Unidos en repetidas ocasiones ha solicitado y obtenido el asesoramiento necesario de ingenieros petroleros y geólogos mexicanos para sus trabajos de investigación geotérmica en el Valle Imperial, California, además la tecnología mexicana ha sido aplicada tam-

bién en países como el Salvador y Nicaragua⁽¹⁵¹⁾ (Véase la ilustración N° 20).

Cabe destacar que mientras esta situación se produce, la UNAM, a través del Instituto de Geofísica, lleva a cabo el desarrollo de nuevos métodos y la aplicación de otros más convencionales en la explotación geotérmica.⁽¹⁵²⁾

Además de la utilización del vapor para la generación de energía eléctrica, existen numerosos productos químicos derivados de los gases y de las aguas geotérmicas, cuyo aprovechamiento puede considerarse secundario, pero en realidad debido a su valor económico, son importantes.⁽¹⁵³⁾

El agua meteórica que se infiltra en las profundidades, se mezcla con los gases provenientes del Magma, los que están por lo general, altamente mineralizados. Estos vapores son arrastrados por el agua a las capas superficiales en las que a enorme presión se va acumulando y enriqueciendo a través de cientos o miles de años hasta llegar a formar depósitos minerales de gran importancia.

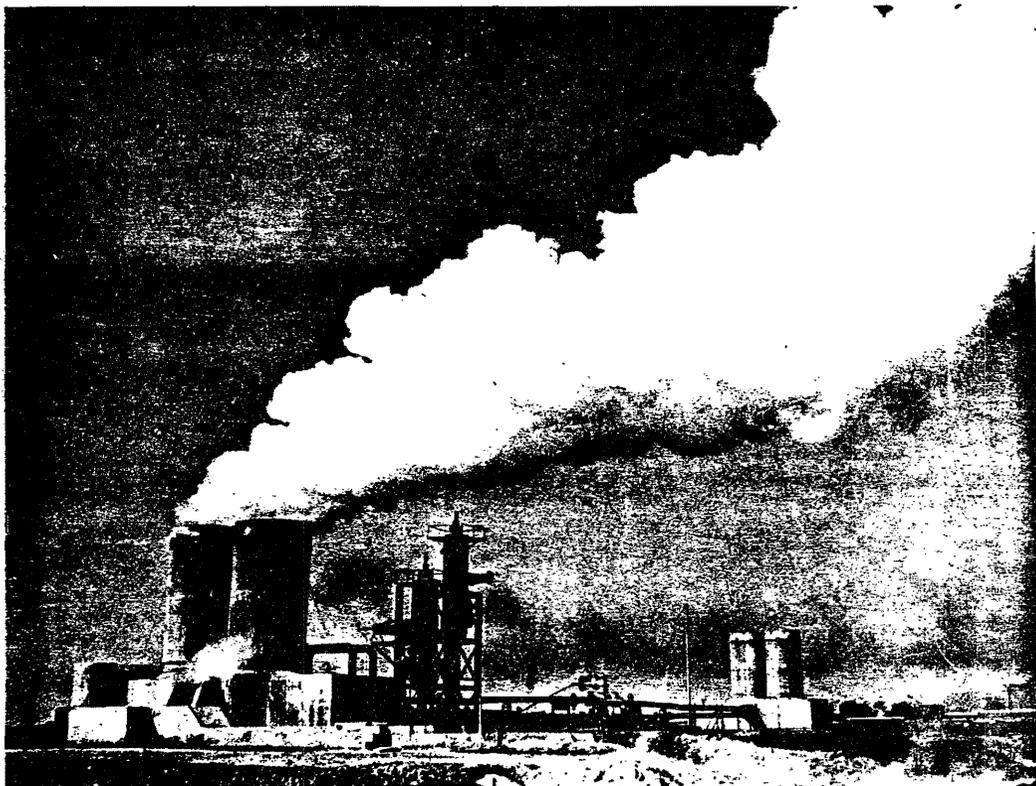
En el campo geotérmico de Cerro Prieto, B.C., el análisis químico en promedio de la salmuera obtenida, es el siguiente:

(151) Ibid, p. 135.

(152) Ibid, p. 136.

(153) Ibid, p. 138.

Ilustración N° 20



Pozo geotérmico de la Central Geotermoeléctrica de Cerro Prieto, Baja California. (Foto: José F. Gómez)

La fotografía de José F. Gómez, publicada por la revista Ciencia y Desarrollo muestra una vista de las instalaciones de la Central Geotermoeléctrica de Cerro Prieto, Baja California.

Fuente: Revista Ciencia y Desarrollo, ed. CONACyT, Marzo-abril -- 1987, N° 73, año XIII, México, D. F., p. 41.

Compuesto:	Porcentaje en peso:
NaCl	2.20
KCl	0.32
LiCl	0.01
CaCl ₂	0.12
SiO ₂	0.09
otros	0.01
H ₂ O	97.25
T o t a l	= 100.00%

Fuente: López, G. y Guzmán, A. Op. cit., p. 138.

Las sales obtenidas a partir de la salmuera por medio de la evaporación solar, en ese campo geotérmico tanto a escala laboratorio- como a escala piloto, son:

Compuesto	Porcentaje en Peso	Compuesto	Porcentaje en Peso
NaCl	97.64	NaCl	65.71
KCl	1.96	KCl	31.95
LiCl	0.03	LiCl	0.24
CaCl	0.33	CaCl	2.06
SiO ₂	0.04	SiO ₂	0.04

Fuente: López, G. y Guzmán, A., Op. cit., p. 139.

En octubre de 1981, se inició la construcción de una planta de recuperación de Cloruro de Potasio (KCl), a partir de la salmuera -

remanente de la generación de energía eléctrica, y como un subproducto de la misma.

El Cloruro de Potasio que actualmente se obtiene, satisface en -- gran parte de la demanda del país, ya que anteriormente se le importaba en su totalidad, los usos que se le dan a éste compuesto-químico son básicamente la elaboración de jabón líquido, en la purificación del agua a través de ácido clorhídrico, en la obtención del cloro, en la reparación de potasa caústica y en la producción de fertilizantes. (154)

Con respecto al aprovechamiento de los gases no condensables, en la planta geotérmica de Cerro Prieto, se han realizado trabajos -- de investigación, los cuales se han aplicado en forma experimental para obtener Azufre a partir de Acido Sulfhídrico (H_2S) mediante el método químico de oxidación directa.

Por lo que respecta a las perspectivas de aprovechamiento de la -- energía geotérmica en México, debido a la diversificación de fuentes de energía que se tienen (Petróleo, Gas Natural, Carbón e Hidroeléctrica), la obtención de la energía eléctrica a través de -- tecnología geotérmica es baja, ya que representó un 1% de la energía utilizada para el inicio de la década de los ochentas; sin embargo, se debe de tomar en cuenta que éste tipo de energía si --

(154) Gutiérrez L., Op. cit., p. 37.

si bien su importancia no es primaria para el consumo energético, a nivel regional, si representa un complemento importante.

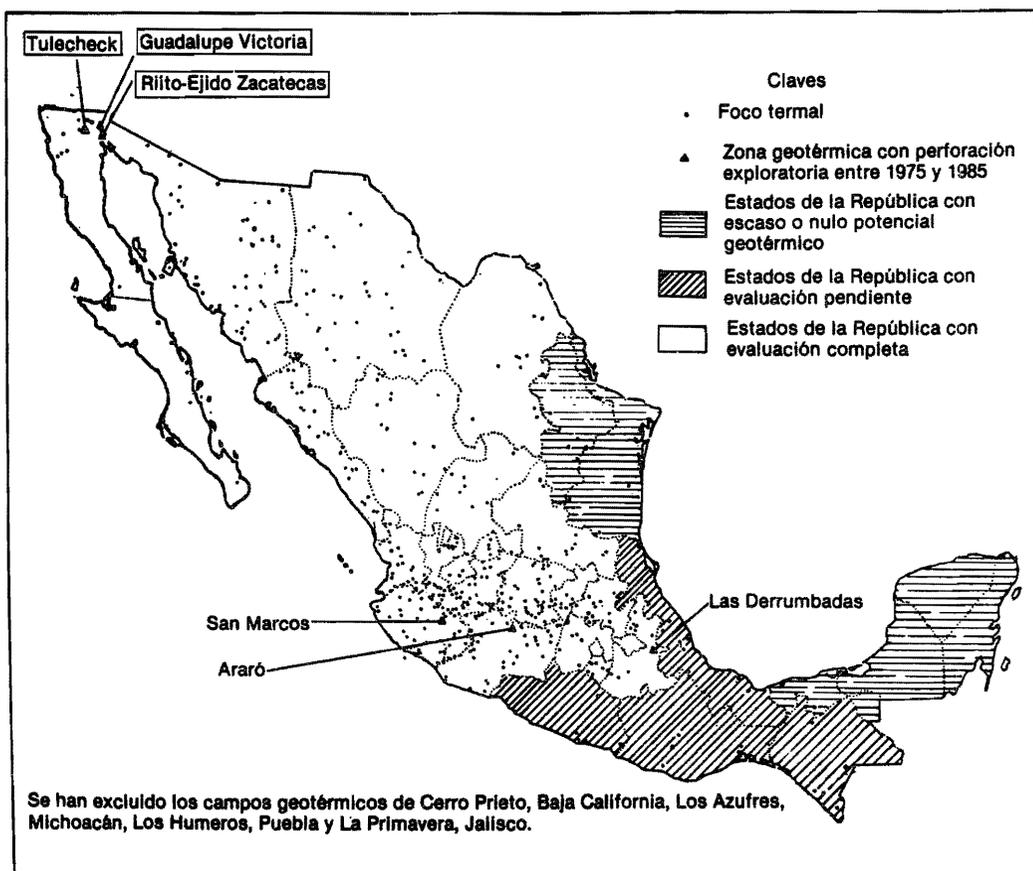
Como parte de la evaluación geotérmica de todo el país, la Comisión Federal de Electricidad, ha realizado hasta el momento el reconocimiento de las manifestaciones superficiales, así como en su evaluación regional, existentes en 23 estados de la República, -- quedando únicamente cuatro por evaluar. Los 6 restantes: Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tamaulipas, Tabasco y el Distrito Federal se consideran con escaso potencial geotérmico. De acuerdo con los proyectos y programas actuales se concluyó el reconocimiento y -- evaluación de manifestaciones termales en 1988 (véase el mapa N°-3).

En los 21 estados completamente evaluados se ha identificado, clasificado y analizado más de 1400 manifestaciones; 632 pozos de -- agua termal; 35 fumarolas y 14 volcanes de lodo o hervideros. Muchas de estas manifestaciones se contabilizan como una sola, pero en realidad son un conjunto de focos termales cuya relativa cercanía y semejanza de condiciones geológicas sugieren un origen común. Se estima que los focos termales reconocidos hasta el momento constituyen alrededor de 90% de todos los existentes en el -- país. (155)

(155) Gutiérrez L., Op. cit., p. 37.

Mapa N° 3

El mapa ubica puntualmente los focos termales que se manifiestan en la superficie de la República Mexicana, así como las zonas geotérmicas perforadas, además de los estados donde se ha efectuado evaluación geotérmica regional hasta junio de 1986.



Focos termales, zonas geotérmicas perforadas y estados de la República Mexicana con evaluación geotérmica regional hasta junio de 1986

Cabe destacar que en la actualidad existen más de 25 zonas geotérmicas en las que se desarrollan estudios de geología, geoquímica o geofísica de detalle. Según los programas actuales, los estudios completos se terminarán en 1991, pero es evidente que al concluirse se recomendará perforar pozos exploratorios en algunas zonas, lo que incrementará el total de regiones por perforar a 25 ó 28 y todas con alta probabilidad de contener yacimientos geotérmicos.

Interpretando los datos estadísticos conocidos hasta el momento, se ha estimado que el potencial geotérmico del país sería suficiente para generar un total de 2440 Megavatios en el año 2000, si bien las reservas probables podrían llegar a generar hasta 4,600 megavatios. Por supuesto, aunque los 2,440MWe que se calculan para el año 2000 representan una cantidad mayor que la capacidad instalada actual en los Estados Unidos, en realidad significarían alrededor de 5% de la demanda de energía eléctrica para ese año. (156)

Por último, vale la pena destacar dos importantes características de la energía geotérmica: Su bajo costo y su relativa limpieza ecológica. En efecto, a precios de junio de 1984, al costo unitario del Kilowatt-hora generado en la Central Geotérmica de Cerro Prieto fue el más bajo de los costos unitarios para otros tipos -

(156) Ibidem., p. 45-46.

de tecnologías empleadas por la Comisión Federal de Electricidad- en procesos comparados con los hidroeléctricos, termoeléctricos, - turbogas y carboeléctricas, entre otras. (157)

La central no solo utiliza los productos derivados de la energía- geotérmica, sino que también, realiza investigaciones relaciona-- das con el aprovechamiento del agua mineralizada, trabajando con- cultivos hidropónicos para aprovechar los recursos de esta ener-- gía. Actualmente se realizan estudios con pepinos, jitomates y -- otras hortalizas; asimismo, se realizan trabajos de acuicultura y pequeñas granjas experimentales en donde se alimentan conejos, -- chivos, cerdos y aves con forrajes producidos con energía solar - directa y el agua residual de los pozos geotérmicos; también se - estan construyendo incubadoras de altas capacidades para producir aves de corral mediante el calor geotérmico. (158)

Finalmente, cabe mencionar que se ha construído una planta potabi- lizadora con base de vapor endógeno, con el fin de satisfacer las necesidades de agua del campo geotérmico. Esta planta esta consi- derada como la primera en su género en el mundo.

(157) Ibid., p. 46

(158) Cantarell, A., Op. cit., p. 21.

4.4 Conclusiones del Capítulo.

- Conclusiones del Uso de Energía de Fisión.

Por lo que respecta a la posibilidad de que en la República Mexicana se lleva a cabo un verdadero programa que considere la expansión de las centrales núcleo-eléctricas, este proyecto si se puede llevar a cabo, ya que en nuestro país se cuenta con los recursos en cuanto a materias primas que se necesitan, pues los recursos probados de mineral de Uranio registrados pueden sostener la demanda necesaria para su transformación en los combustibles nucleares que necesitan las centrales átomo-eléctricas. Sin embargo, es conveniente observar que la dependencia encargada de procesar y refinar este material, que es URAMEX, ha desaparecido, como consecuencia de la política sindical del Gobierno Federal, con esta acción se ha dejado a esta inicial industria sin una base inicial firme; y además, se recurre nuevamente a comprar el combustible nuclear a empresas extranjeras, principalmente norteamericanas.

El desarrollo tanto en la construcción de centrales átomo-eléctricas así como en la producción de energía eléctrica resultado del empleo de éste tipo de tecnología se a visto obstaculizado por una gran variedad de causas, las principales son las que ha continuación se mencionan.

La primera y quizá la más importante es la que se refiere a la in

definición del gobierno por constituir un auténtico programa de -
generación de satisfactores derivados del uso de la energía nu- -
cleo eléctrica, por lo que dicha política esta determinada por el
gusto o disgusto de los políticos que controlan estos programas -
entre una administración y otra.

Otro se refiere a la construcción de una tecnología propia; en es-
te sentido las diversas instituciones ya mencionadas han realiza-
do esfuerzos por que esta tecnología sea desarrollada en nuestro-
país. Sin embargo, el camino por recorrer es aún largo, por lo --
que en la puesta en práctica de nuestra primera central átomo- --
eléctrica, que es Laguna Verde, se ha tenido que recurrir tanto a
técnicos como a compañías extranjeras para poder ponerla en fun--
cionamiento, generando con esto un gasto para el errario público-
superior a lo proyectado.

El inicio del funcionamiento de la central núcleo-eléctrica de La
guna Verde, ha provocado dentro de la población civil de nuestro-
país una verdadera incertidumbre en cuanto a su correcto funciona-
miento, ya que conociendo las acciones que el Gobierno Federal --
realiza en cuanto a la tesgiversación de la información, en rela-
ción a situaciones reales, esta relación permite dudar de las bon-
dades que pueda tener el uso de éstos recursos; sin embargo, es -
conveniente no olvidar que otros tipos de aplicaciones de éste ti-
po de energía constituye, sobre todo el relacionado con el de la-
medicina aplicada y la industria, permiten sostener la necesidad-

de que éste tipo de industrias nucleares se desarrolle convenientemente en el país.

Como conclusión general referente al uso de la energía eléctrica derivada de los procesos de fisión nuclear en nuestro país es importante anotar que su uso resulta conveniente para el desarrollo social y tecnológico, sin olvidar, desde luego, la responsabilidad que implica el uso adecuado de este recurso.

Por lo que respecta al aporte que este tipo de recurso pueda hacer en lo que se refiere al potencial energético mundial, la tendencia, ya referida con anterioridad, permite suponer que, pese a las perspectivas trazadas, la energía producida con esta técnica será menor que la proyectada, y por lo tanto comparada con otro tipo de recursos de carácter convencional será algo superior al 3% del aporte total de la suma de los mismos.

En cuanto a nuestro país, si se considera como cierta la posibilidad de que para fin de siglo se podrán producir los 20,000 megawatts para el año 2000, ésto solo representará un 5% de la energía que demandará nuestro país y como consecuencia éste tipo de tecnología nuclear quedará en una situación marginal en relación a los otros tipos de recursos energéticos que producen energía primaria.

- Perspectivas de Investigaciones de la Fusión Nuclear.

La investigación referente a los procesos de la fusión nuclear -- son bastante complejos y esta complejidad se amplía no solo a la investigación teórica, sino también a la tecnológica y la referida al diseño; esto hace que los esfuerzos (económicos, materiales y humanos), exijan una cantidad considerable de recursos materiales y humanos, lo que implica la movilización de grandes capitales -- dispuestos a sostener los lentos avances del quehacer científico- y tecnológicos.

México, como una nación que enfrenta graves problemas en su desarrollo económico, científico y tecnológico, está al margen del desarrollo de éste tipo de experiencias. Sin embargo, los experimentos que se han realizado con el proceso de fusión en frío, permiten a los científicos mexicanos el ser participes de éstas experiencias, que sin ser tan ostentosas como la tecnología generada para producir las reacciones nucleares en caliente, pueden ser -- otro camino para llegar a la tan ansiada fusión nuclear.

- Conclusiones Referidas al Tema de la Energía Geotérmica.

La República Mexicana es un país en donde el aprovechamiento de -- la energía proveniente de los recursos geotérmicos ha desarrollado su propia tecnología, a diferencia de las otras formas de -- apropiación de los recursos energéticos no convencionales, lo que

la mantiene en una situación excepcional. Además el potencial - que tiene nuestro país en cuanto a manifestaciones termales, de - nuevo lo coloca encima de otras regiones geográficas y países de - la tierra.

En cuanto a la potencialidad de uso del recurso se recuerda que - es aproximadamente de 205 megawatts; se proyecta que su crecimien - to a mediano plazo para el año 2000 será de 2440 megawatts, cifra - que lo pone encima de la producción estadounidense actual. Esta - situación resulta interesante, ya que para este mismo año repre-- - sentará sólo el 5% del total de la producción de Energía Eléctri- - ca en nuestro país; por lo tanto, se puede hacer la siguiente con- - sideración: Que la geotermia no puede considerarse como una op- - ción al consumo de petróleo o a otros recursos energéticos sino - sólo como un complemento.

En ciertos países cuya demanda de energía eléctrica no es muy ele - vada, la electricidad de origen geotérmico puede llegar a ser muy - importante; este es el caso, por ejemplo de El Salvador, cuya pro - ducción geotérmica geotermoeléctrica representa alrededor del 30% - de su producción total de energía; y Nicaragua, cuyo potencial -- - geotérmico se ha estimado en 100 megawatts y podría satisfacer la - mayor parte de su demanda energética.

A nivel mundial se estima que a fines de ésta década la energía - geotérmica cubrirá apenas el 1% del total de las necesidades mun-

diales de energía. (159)

Pese a lo anterior es conveniente comentar dos aspectos importantes en cuanto al aprovechamiento de la energía obtenida de los recursos geotérmicos; el primero se refiere al bajo costo económico del recurso, el segundo a que la tecnología se ha generado por lo regular en países con poco adelanto tecnológico.

Por último, la cuestión a desarrollar obedece al carácter "limpio" del recurso; las actividades en cuanto a su explotación no se permiten hacer las siguientes observaciones:

- . Las emisiones residuales de agua y vapor son altamente contaminantes, pues por lo general traen disueltas sales y gases que los hacen muy tóxicos para el agua, el suelo y el aire, del entorno inmediato, por ello es conveniente que se aplique los métodos adecuados para aprovechar los recursos que de manera lateral pueden hacerse.
- . Es conveniente que se aplique las técnicas de conservación de recursos principalmente en lo que se refiere al cuidado de los cuerpos de agua, los suelos y el aire de los lugares cercanos a la explotación de yacimientos geotérmicos.

(159) Zaric, Z., Op. cit., p. 20.

. Un último comentario respecto al uso de los recursos de carácter geotérmico se refiere a lo bajo del precio de este recurso, situación que lo favorece en relación a lo invertido para aprovechar otras fuentes de energía.

C O N C L U S I O N E S

La división internacional del trabajo ha plasmado en el mundo dos tipos de realidades. La primera queda en aquellos países que, independientemente del tipo de régimen socio-político que tengan, tiene asegurado cierto nivel de desarrollo, y por lo tanto un determinado grado de independencia económica y autodeterminación socio-política; las otras, aquellos países que aún no han resuelto sus problemas de desarrollo, aún cuando cuentan con una amplia gama de recursos. El no haber capitalizado estos, así como el no contar con una tecnología propia los hace participes de una situación de dependencia que se observa tanto en lo económico como en lo social, político y cultural.

Hablar sobre el aprovechamiento cualquier recurso, en éste caso - los energéticos, obliga a referirse a tres cuestiones fundamentales: lo socio-económico, lo científico-tecnológico y lo geográfico-ecológico: en relación a la primera cuestión, es conveniente observar que cualquier proyecto de investigación que tenga como objetivo central el aprovechar los recursos naturales, conlleva la necesidad de una inversión financiera que muchos países no tienen y por lo tanto no pueden realizar la actividad referida a la investigación teórica, así como la creación de la correspondiente tecnología.

En lo referente a la cuestión científico-tecnológica, ésta no pue

de desarrollarse, si no la precede la investigación teórica. Además, la tecnología no circula libremente en el mundo, pues su uso está determinado por la posibilidad de obtenerla a través de defi
nidos procesos de comercialización.

Por lo que se refiere a la cuestión ambiental, o geográfico-ecológica, es bien sabido que el empleo de cualquier tecnología en ayu
da a las necesidades humanas provoca una relación directa y unívoca con el medio ambiente, provocando modificaciones al mismo. Des
de esa perspectiva se comenta lo adecuado o inadecuado del uso de esta tecnología, teniendo como contexto los factores socio-económicos y culturales que conforman a la sociedad.

Por lo tanto, si se parte de la premisa de que la riqueza, lo mismo que el consumo y producción de energía, está distribuida inequi
tativamente en el mundo, una reflexión sobre la situación anterior es la siguiente: los países que más necesitan energía con un menor costo, son aquellos que, principalmente por falta de recursos, no es factible de que la obtengan.

En vista de lo anterior, los comentarios que a continuación se --
presentan resumen las conclusiones globales para cada uno de los recursos que a lo largo del estudio se revisarán.

Energía Solar.

Una característica particular en cuanto al aprovechamiento de los recursos energéticos derivados del sol y la biomasa, es el hecho de obtener energía de tipo primario y secundario, lo que posibilita el resolver diversas necesidades energéticas como la empleada en la calefacción, la climatización el trabajo mecánico y el calorífico, principalmente.

Uno de los problemas que plantea el uso de éstos recursos esta da do por su "consistencia diluída", es decir, por lo regular son re cursos que aún cuando no se han de agotar en un tiempo cercano, - plantean el problema de que, por su intermitencia y la falta de periodicidad de su flujo no pueden ser usados continuamente o por que su empleo puede causar graves deterioros ecológicos en el lu gar en donde se lleve a cabo su explotación.

La situación anterior plantea una desventaja inmediata con rela-- ción a los recursos energéticos concentrados; esto, desde luego in fluyen en la geografía del consumo de dichos recursos, siendo es- tos importantes de ser aprovechados en las regiones rurales o en- zonas con una baja densidad de población. Para el caso de las ciu dades o de los centros industriales importantes, éste tipo de re- cursos podrá hacer aporte importante. Sin embargo, no serán los - determinantes en cuanto a consumo principal.

Como ya se ha mencionado, en una parte del capítulo primero, en cada una de las etapas por las que ha atravesado la humanidad, la apropiación de los recursos, ha sido producto del uso de un determinado tipo de tecnología y modo de producción; esto es, la relación que establecen entre sí los hombres en relación al trabajo que realizan.

En el presente trabajo, a esta conceptualización se le ha denominado paradigma tecnológico; y éste modelo es válido tanto a un grupo culturalmente distinto, como para la sociedad en su conjunto.

De hecho, el cambiar de tecnología y emplear de manera más extensiva estos recursos no convencionales, ha de presuponer un cambio profundo en el uso y manejo del suelo, considerando que éstos cambios son por lo regular lentos, en relación a la dinámica social, de hecho éste cambio habrá de llevarse a cabo de una manera sucesiva y no de manera inmediata.

La República Mexicana por las características de su ubicación geográfica, posee en abundancia recursos derivados de la energía solar; sin embargo, con el grado de desarrollo tecnológico detentado en cuanto al uso de la radiación solar, el recurso no aporta ni siquiera el 1% de las necesidades energéticas del país, por lo tanto, puede decirse que el país está atrasado en relación a otros países, que en sus políticas energéticas le han dado a éste

recurso más prioridad.

Biomasa.

El uso de la biomasa empleada como combustible ha sido una práctica común para el hombre a través de toda su historia, y ha sido conjuntamente con la agricultura y el pastoreo, los procesos que más han transformado la superficie de la tierra.

En el momento actual, hacen uso de la leña o el carbón vegetal -- aproximadamente un 15% de los más de 5000 millones de seres humanos que habitan este planeta. Su uso a nivel macrorregional está provocando verdaderos desastres ecológicos en muchas partes del mundo, como, la región del Sahel Sahariano, la del Atlas Africano Los Montes Himalaya, así como todas las Cordilleras Americanas -- que sustentan vegetación arbustiva o arbórea. Esta situación está creando una serie de alteraciones ambientales a nivel micro y macroclimático, conduciendo esta a una serie de procesos irreversibles de pérdida de recursos. La situación planteada en algunos lugares ya ha causado irreversibles pérdidas de recursos, desastres económicos y tragedias sociales, la situación descrita con anterioridad permite observar que en algunas regiones dicha destrucción ya no se puede controlar.

Se ha estimado que el consumo mundial de madera, como combustible se sitúa en los 500 millones de toneladas equivalentes de carbón-

anuales, aproximadamente un 6% del consumo mundial de energía. Pero prácticamente en todas partes la tala avanza rápidamente que - la reforestación. Hay una aritmética verdaderamente aterradora de crecimiento de la población y la desaparición de árboles que está lanzando a millones de seres hacia el desastre.

Las naciones ricas deben precisar la gravedad de la escasez de ma dera, combustible y estar preparadas para ofrecer toda la ayuda po sible para evitar una verdadera catastrofe; ya que la madera se- rá probablemente la primera fuente de energía que desaparecerá de vastas áreas de la superficie terrestre.

Una actividad que ha levantado fuertes polémicas, principalmente, entre los sectores técnicos e investigadores ambientalistas, es - el hecho referido a la intensiva deforestación de la Selva Amazó nica. El hecho parece deberse a dos causas específicas: la prime- ra, referente a la ampliación continua de las zonas de pastizales inducidos; la segunda, al aprovechamiento de las tierras de las - Selvas para cambiar su uso del suelo y transformarlas en agríco-- las, como respuesta al programa brasileño, para producir, a par-- tir de la biomasa empleada en la producción de Etanol, para consu- mirlo como combustible ya en la industria, ya en el transporte. - El factor que ha provocado la polémica, no es tanto el referente a conseguir más recursos energéticos; sino al hecho de que, te- - niendo Brasil zonas de pobreza endémica, como es el caso del nor- este brasileño, que ha sufrido sistemáticamente de hambrunas, y-

es la región primordial en cuanto a índice de emigración, las tierras geográficamente cercanas se están ocupando para producir un combustible, cuyo uso puede pasar como suntuario, como es el caso de la gasolina.

Por lo que respecta al uso de la biomasa como fuente de energía - dentro del contexto de la República Mexicana, algunas características del panorama son las siguientes: para el caso del uso de la tecnología empleada para aprovechar la biomasa (conversión biológica y termoquímica), básicamente los procedimientos son utilizados en las ciudades para abatir de cierta manera el problema de la deposición final de las basuras y otros desechos sólidos. Cuando se ubica en las zonas rurales, básicamente atiende las necesidades de lugares con una definida economía de mercado; mientras que el consumo de carbón vegetal o leña se ubica en un medio rural más pobre, principalmente con una economía de subsistencia, y con poca posibilidad de adicionar innovaciones tecnológicas para solucionar sus problemas energéticos.

La observación importante acerca del uso de la madera como recurso energético en nuestro país, obliga a pensar que este es uno de los principales factores que están contribuyendo en la destrucción de la vegetación original; el problema abarca tanto a las especies de climas templados como a las tropicales; para el caso de ésta última todo parece suponer que el ritmo de su destrucción, es aún más acelerado que la desaparición de la Selva Amazónica; -

ésto, desde luego, también incluye la extinción de las especies animales que tienen en este tipo de vegetación su habitat natural.

Energía de las Olas Marinas.

Para el caso específico del aprovechamiento de las Olas Marinas como fuente potencial para la obtención de energía primaria y su transformación inmediata de energía eléctrica, es conveniente mencionar, que si bien es cierto que éste recurso se extiende sobre una superficie geográfica muy importante, prácticamente todas las zonas costeras de nuestro planeta, es realmente en muy pocos litorales en donde se puede aprovechar.

El proceso tecnológico para llevar a cabo dicha transformación energética aún es objeto de experimentación, por lo tanto, es poco probable que en ésta década se consiga contar con centrales productoras y que puedan estar disponibles con fines comerciales.

Como se ha mencionado, en el contexto de la República Mexicana el Instituto Politécnico Nacional, a través del Instituto de Investigaciones Eléctricas, coordina un proyecto de investigación sobre este tipo de recursos energéticos. Sin embargo, la tecnología necesaria para aprovecharlos se encuentra aún en su fase experimental, por lo tanto es conveniente mencionarlo no existe en nuestro país ninguna central para aprovechar la energía de las olas mari-

nas.

Energía Mareomotriz.

Las centrales Mareomotrices son, bajo la posibilidad tecnológica actual, el proceso de transformación energética más factible que se conoce (incluyendo al viento de las fuentes de energía solar indirecta, ya que a partir de la puesta en práctica de la Central Mareomotriz de La Rance en Francia, se demostró su factibilidad.

Los problemas que enfrenta este tipo de centrales aún, a grosso modo, los siguientes:

. Solo existen en el mundo aproximadamente unos 24 lugares que -- pueden explotarse para tal fin, por lo que se dificulta pensar en este recurso con magnitudes mundiales, y que muchos países -- países, aún cuando tengan extensas costas, están exentos de la posibilidad de su explotación; por lo tanto la importancia que tiene el recurso, en la mayoría de los casos, solo es local o regional.

. La explotación de éstos lugares excepcionales no queda al margen de provocar en ellos, si es que se desea construir alguna Central Mareomotriz, alteraciones en los complejos y delicados ecosistemas litorales que allí se encuentran, por ello es que -- en la medida de lo posible, se realicen estudios de productivi-

dad biológica o de otro tipo que impliquen la valoración acertada tanto de los propios ecosistemas, así como la factibilidad económica que reportaría su explotación.

La República Mexicana cuenta con aproximadamente 2000 kilómetros-lineales de litorales, siendo éstos de tipos muy variados. Como se ha mencionado, existen en el mundo pocos lugares en donde sea posible construir una Central Mareomotriz, que tenga un rendimiento medio, se desconoce si al interior del país, se han realizado por parte de la C.F.E., estudios de factibilidad al respecto, parece que no. Sin embargo, es conveniente esperar que pase un poco de tiempo antes de pensar que, en las costas mexicanas pueda proyectarse una central de este tipo.

Por último, es conveniente mencionar que, dado su carácter local o regional la energía producida a partir de las centrales mareomotrizes es pequeña, puede contribuir con menos del 1% al potencial energético mundial; por lo tanto su explotación solo adquiere importancia local.

Energía Térmica de los Océanos.

El potencial energético contenido en los océanos y representado por su gradiente térmico, también es objeto de especulación por parte de los tecnólogos que diseñan las centrales energéticas.

La tecnología que haga posible la explotación de estas fuentes de recursos energéticos aún es producto de proyectos que se encuentran en proceso de experimentación tecnológica, por lo tanto, es conveniente mencionar que ningún país cuenta con centrales de este tipo. Por lo tanto, su aportación al capital energético mundial no puede medirse.

Los estudios que se realizan sobre captación de energía aprovechando el Gradiente Térmico de los Océanos, es un proyecto que se circunscribe al ámbito de los proyectos de diversificación de sus fuentes de energía. No es este el caso de nuestro país, ya que no se han desarrollado proyectos de éste tipo; por lo tanto, la información al respecto es nula.

La conveniencia del uso del recurso puede conllevar a provocar una serie de conveniencias e inconveniencias desde el punto de vista ecológico.

La primera de ellas se refiere a la posibilidad de alterar el Gradiente Térmico de los Océanos en aquellos lugares sujetos a explotación; el segundo se refiere a la posibilidad de provocar surgencias de aguas oceánicas más frías; pero también más ricas en nutrientes, por lo que algunas especies animales sobre todo peces o pájaros pueden beneficiarse con esta situación.

La posible producción de energía puede beneficiar a algunos paí--

ses; sin embargo, la consecuencia última de esta actividad será la de restar energía calorífica a los ciclos naturales para usarla a otros fines. Sea lo que fuere, su uso determina, la posibilidad de provocar en un futuro no muy lejano, la desestabilización de los ciclos que aún no han sido destruidos por el hombre, como son las profundidades marinas.

Energía Eólica.

Por lo que respecta a la energía eólica, puede decirse que los aerogeneradores de mayor magnitud son aún objeto de un último proceso de experimentación, antes de conformar las centrales eolo-energéticas, por lo tanto no se encuentran disponibles comercialmente. Las centrales de menor rango sí se encuentran disponibles comercialmente y su uso es común en algunos países como Holanda, Australia, Japón y Nueva Zelanda, siendo usados sobre todo en zonas rurales; su producción energética es significativa a nivel local o regional. Este recurso es una de las fuentes de energía no convencional que ha futuro puede hacer contribuciones significativas al capital energético mundial, similar a la energía solar o la geotermia.

Por lo que respecta a la República Mexicana, la tecnología que más se ha desarrollado esta dada en la construcción de generadores de baja potencia (0 a 100 kilowatts de potencia). Los que en este momento están en funcionamiento operan principalmente en zo-

nas características rurales del noroeste, centro y suroeste de -- nuestro país, se desconoce si en el ámbito urbano se han aplicado dichos generadores.

Por último, cabe mencionar que el apoyo gubernamental dado a la - investigación del recurso es escasa y se centra principalmente en los centros de enseñanza superior y posgrado.

De todas las fuentes de energía solar indirecta esta es la que és ta más desarrollada tecnológicamente y cabe la posibilidad de que su uso se intensifique más rápido que otros recursos.

Las principales objeciones en cuanto a un aprovechamiento extensivo están dadas por la irregularidad del viento y la variación del mismo a través de las estaciones del año; lo mismo que la tecnología que se emplea para transformar esta energía, los anteriores - factores hacen que el fluido eléctrico resulte aún más costoso -- que el generado por los medios.

Es importante mencionar que la energía eólica además de limpia y económica, es quizá de los recursos de su tipo la que tenga la -- aportación más sustantiva al capital energético mundial. (Con - - aproximadamente más del 1% del total de ese capital), incluyendo desde luego la aportación que se pueda hacer en nuestro país.

Las observaciones que a continuación se presentan contienen una -

serie de observaciones de tipo ecológico que pueden modificar el uso de la energía eólica, la situación no es aún representativa de México, ya que no cuenta con el tipo de centrales eolo-energéticas de mayor capacidad.

- . Los grandes sistemas eolo-energéticos pueden llegar a interferir las señales de alta frecuencia como las de televisión, radio o la comunicación inalámbrica aunado a la aeroturbina, se localiza entre el transmisor y el receptor.
- . El ruido audible y ultrasónico puede causar cambios y alteraciones en el medio ambiente natural y social de los alrededores de las centrales eolo-energéticas de mayor potencia.
- . Si los centrales se encuentran en las vías de migración de las aves en una determinada región con importantes recursos faunísticas, se pueden producir coaliciones de las aves contra la torre y las aspas de la aeroturbina, sobre todo cuando estas se encuentran en funcionamiento.
- . Por último, las complejas centrales eoloenergéticas pueden ser rechazadas socialmente al incluirse como elementos extraños en un paisaje que sea apreciado localmente.

Fisión Nuclear.

La segunda mitad de este siglo ha visto con sorpresa el desarrollo de la tecnología que hace posible el producir energía calorífica y eléctrica a partir de los procesos de fisión nuclear. Este desarrollo tecnológico es importante y acelerado, y de hecho ha definido el uso del recurso.

Son tres los problemas centrales que aquejan a la industria nuclear eléctrica, el primero de ellos hace referencia a la falta de un lugar adecuado para depositar los desechos radiactivos de las plantas átomo-eléctricas, se han buscado un sin fin de opciones y todas ellas al final resultan insatisfactorias, representando con esto un peligro de contaminación radiactiva de las fuentes acuáticas, del suelo, la atmósfera y la fauna y flora y al propio hombre.

El otro problema importante inherente al uso de la energía nuclear es el hecho de que exista la posibilidad de que al interior del reactor nuclear se pueda llevar a cabo un accidente; este hecho, conocido como el Síndrome de China, es un factor de repulsión al uso de la energía nuclear, ya que numerosos accidentes testifican la anterior situación.

El tercer problema está dado por la asociación de este recurso con la proliferación de las armas de tipo nuclear, los armamentos

son una fuente de polémica entre las naciones del mundo. Principalmente las que tienen importantes programas de aprovechamiento de la energía nuclear y la construcción de armas nucleares, y es esta situación la que impide que la producción de uranio enriquecido no circule libremente en los mercados de consumo internacional.

La relación que existe entre esta problemática no resuelta por el uso de esta tecnología y la definición de la política energética que los diversos países han estructurado para satisfacer sus necesidades, se ha enfrentado a la resistencia directa por una gran parte de la sociedad hacia esta política de desarrollo. Esta presión social ha sido principal obstáculo para que dicha política energética no alcance las metas programadas, debido a ello los programas de producción de energía núcleo-eléctrica son revisados severamente en países muy industrializados como Alemania, Japón y E.U.A., promoviendo el que sean cerradas las centrales que no han aprobado las condiciones mínimas de protección tanto para los trabajadores como para la población de la región donde se ubican.

Para el caso específico del aprovechamiento de la energía nuclear en la República Mexicana, la necesidad de su uso no es cuestionable, pues se conoce que además de la producción de electricidad y calor, existen otros beneficios que el manejo de los elementos radiactivos reporta; sin embargo, dadas las características políticas de nuestro país, parece ser que el proyecto de Laguna Verde -

no responde a las necesidades y consenso de los ciudadanos; de hecho, esto último nunca es tomado en cuenta por los gobernantes.

Otra observación importante es en relación a la tecnología con la que fueron construidos los dos reactores de Laguna Verde, así como los mecanismos de seguridad para alertar a la población en caso de una emergencia; aquí es conveniente recordar que no es lo mismo hablar de los mecanismos de seguridad que se observan en -- los países escandinavos, que en México tanto lo referido al control técnico, como al humano; razón por la cual se puede mencionar que las posibilidades de error, equivocación o torpeza pueden ser mayores cuando se realizan por burócratas. De aquí que una -- gran parte importante de la opinión pública mexicana, no se manifieste en contra del proyecto, sino en contra de la tergiversación de la información que provoca el gobierno federal a través -- de su vocero oficial para asuntos energéticos, lo cual le corresponde a la Comisión Federal de Electricidad.

Dentro de una perspectiva general, el reto tiene que enfrentar y solucionar esta industria en un futuro a corto y mediano plazo -- son, entre otros, los siguientes problemas:

- . La energía nuclear debe ofrecer ventajas sustanciales sobre las otras fuentes de energía, en especial en los aspectos relacionados con su durabilidad, economía y ecología.

- . La utilización de esta fuente de energía no debe inducir a desarrollar y fomentar el efecto de invernadero.
- . Los niveles y ciclos de las aguas marinas y continentales no debe alterarse, ni tampoco, el aprovechamiento del agua para consumo y usos agrícolas diversos.
- . No se deben liberar gases que causen o promuevan la formación de lluvias ácidas.
- . La energía producida debe ser manejable y controlable, por lo tanto, los riesgos para los obreros y las poblaciones próximas a las centrales generadoras deben ser mínimas o inexistentes.
- . No debe tener efectos nocivos sobre las diversas manifestaciones vivientes.
- . Por último, ha de ser costeable y de larga duración.

Fusión Nuclear.

El proceso de producción de energía de fusión nuclear aún es objeto y sujeto de investigación experimental. De hecho, no existe en ninguna parte del mundo una central de éste tipo, por lo tanto la posibilidad de uso de este recurso aún es remota; algunos observadores opinan que, posiblemente, a principios del siglo XXI, se --

hayan logrado vencer los obstáculos tecnológicos y se esté en la posibilidad de aprovecharla.

Como consecuencia de la investigación e innovación tecnológica realizada, un grupo de investigadores ha propuesto otros caminos para producir, para la fusión controlada y permanente, se trata -- del proceso experimentación que tiene como principio el crear una fusión en frío, es decir en condiciones ambientales normales, la cual ha demostrado hasta el momento dudosos resultados.

Energía Geotérmica.

Por lo que respecta a la energía geotérmica es, de todas las fuentes energéticas no convencionales la que más uso tiene, conjuntamente con la energía nuclear y la eólica. La tecnología desarrollada se ha diferenciado de las otras fuentes de energía ya que se ha generado casi en su totalidad en los países subdesarrollados que sustentan el recurso.

Una característica importante en relación al uso del recurso es -- que el vapor y el agua líquida liberada del subsuelo por el proceso de explotación de los yacimientos geotérmicos, contienen en solución altas concentraciones de sales minerales, las cuales al -- ser arrojadas fuera de centrales geotérmicas contaminan los cuerpos de agua, el suelo y el aire del entorno inmediato en donde se ubican las centrales.

En la República Mexicana se están tomando medidas alternativas para evitar la alteración mencionada y aprovechar el recurso de una forma más integral, la misma situación priva en aquellos países - que tienen recursos de éste tipo como Islandia, los Estados Unidos, Italia y los países centroamericanos como El Salvador y Nicaragua.

La perspectiva existente en cuanto a su aprovechamiento, tiende a crecer en un futuro inmediato, como consecuencia de la investigación realizada sobre el potencial energético del recurso, los nuevos procesos de explotación y eficiencia tecnológica, así como el empleo de la infraestructura necesaria para aprovechar otros recursos naturales que su explotación contiene son entre otros los factores que condicionan su crecimiento y aprovechamiento intensivo.

Resumiendo, la República Mexicana además de los yacimientos que tiene en relación al recurso, puede decirse que es un país líder en el desarrollo tecnológico para aprovechar la energía geotérmica. Así mismo ha impulsado sistemas de aprovechamiento integral del recurso. En el momento actual la geotermia proporciona al país cerca del 2 % de sus necesidades energéticas.

La necesidad de diversificar las fuentes de energía con las que la República Mexicana se abastece debe ser un hecho inaplazable. Todos los comentarios emitidos por los especialistas así lo aseve

ran. Sin embargo, de hecho, en la realidad inmediata y dentro de la política energética que sigue el país parece olvidarse, pues - muy poco se hace al respecto, ya que los presupuestos que se proponen para llevar a cabo las investigaciones siguen siendo muy bajos o prácticamente inexistentes. Por lo tanto resulta falaz, que dentro de éste contexto, México pueda llegar a desarrollar una tecnología propia cuando se agoten sus reservas de hidrocarburos y - el mundo en su conjunto sea movilizado por otros paradigmas tecnológicos.

Por lo anterior, es conveniente que de manera inaplazable se le - de importancia real a esta diversificación energética con lo cual México debe enfrentar su desarrollo.

Por último, es conveniente recordar que como parte de las leyes - generales de la termodinámica, sobre todo la segunda, la cual precisa que ningún proceso que involucre una transformación de la -- energía, se presentará a menos que haya una degradación energética de una forma concentrada a una difusa; debido a que parte de - la energía se disipa en forma de calor, el cual ya no es recuperable; por lo tanto el calor excedente producido por los energéticos gastados, tanto de los concentrados como de los diluidos, tienen como fin último, el incorporarse a los ciclos terrestres, los cuales bajo su efecto están siendo afectados, no solo por este calor residual, sino también por la amplia gama de actividades que - el hombre, genéricamente hablando, realiza para crear aún más de-

sestabilización en los mencionados ciclos, los ecosistemas y los grandes paisajes naturales.

Esta circunstancialidad esta creando una serie de tensiones sobre las cuales es conveniente reflexionar con más seriedad, si se desea continuar con la vida, no solo la humana, sino que también -- con las otras especies con las que compartimos este planeta.

BIBLIOGRAFIA

1. Alonso E., Héctor. La Energía geotérmica en El Salvador. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo XXVIII, N° 2. México, 1985.
2. Canal Ramón y La Piedra, Ramón. Origen y Evolución del Universo. Barcelona, Esp.: Editorial Salvat, 1973.
3. Castellanos, A. y Escobedo, M. La energía solar en México, -- situación actual y perspectivas. México, D.F.: Editorial Centro de Ecodesarrollo, 1980.
4. Concheiro, Antonio y Rodríguez V., Luis. Alternativas energéticas. México, D. F.: Editorial Fondo de Cultura Económica/--CONACyT., 1985.
5. Costa D., Antonio. Hacia una industria nuclear integrada. México, D. F.: Ed. Instituto de Capacitación Política/PRI, 1982.
6. Foley, G. y Nassim, Ch. La cuestión energética. Barcelona, España: Ediciones del Serval, 1982.
7. Freeman, J. D. Energy and power. San Fco. Cal. USA.: Ed. Freeman and Co. 1971.
8. Hayes, Dennis. Energy The Solar Prospect. Washington, D.C. -- USA.: ed. Wordwatch Paper, 1977.
9. López F., Guillermo y Guzmán V., Alvaro. Aportaciones Geográficas al estado de la geotermia en México. Tesis UNAM. México D. F., 1986.
10. Masson, H. Sobre el procedimiento de captura del calor solar.

- Actas del coloquio sobre energía solar y eólica celebrado en Nueva Delhi, India.: ed. UNESCO, 1965.
11. Mc. Mullan, Morgan y Murray. Recursos energéticos. Barcelona, Esp.: ed. Blume, 1982.
 12. México. Secretaría de la Presidencia. Plan Nacional de Desarrollo (1983-1989). México, D. F., 1983.
 13. México, Secretaría de la Presidencia. Plan Nacional de Desarrollo (1989-1994). México, D. F., 1989.
 14. Sagan, Carl. Cosmos. Barcelona, Esp.: ed. Planeta, 1982.
 15. Semionov, Nikolai. La sociedad y el medio ambiente. Concepción de los científicos soviéticos. Moscú, URSS.: ed. Progreso, 1981.
 16. Leo Smith, Kobort. Ecology and field biology. New York, USA.: Harper and Kow Publishers., 1976.
 17. Workshop in Alternative Energy Strategies (WAES). Energy: -- The global prospect. (1985-2000). New York, USA.: ed. Mc. -- Graw Hill Co., 1977.

REVISTAS

18. Alvarez, Román. La geotermia y alternativas de México. Rev. Ciencia y Desarrollo. México, D. F.: ed. CONACyT - Vol. II, N° 10, 1976.
19. Boissonnet, Franck. La revancha del fotón sobre el electrón.- Rev. Ciencia y Desarrollo. México, D. F.: ed. CONACyT. Vol. - II, N° 46, 1982.

20. Burg, Andrea. La cuestión nuclear en Francia. A partir de los reactores de cría. Rev. Ciencia y Desarrollo. México, D. F.: ed. CONACyT. Vol V - N° 38, 1981.
21. Cantarrel, Aquiles. La energía geotérmica. La central Cerro - Prieto, B.C. Norte. Rev. Información Científica y Tecnológica. México, D.F., ed. CONACyT. Vol. V; N° 82, 1983.
22. Fortes, Mauricio. El origen de la energía. Rev. Información Científica y Tecnológica. México, D. F.: ed. CONACyT. Vol. V - N° 82, 1983.
23. Girón, Helvia. Fuentes de energía no convencional. Rev. Información Científica y Tecnológica. México, D. F.: ed. CONACyT.- Vol. 5, N° 82, 1983.
24. Gómez V., Héctor. Un aerogenerador en marcha. El Colibrí AXP. Rev. Información Científica y Tecnológica. México, D. F., ed. CONACyT, Vol. V, N° 82, 1983.
25. Gutiérrez Negrín, Luis. Geotermia: Fuente de energía al alcance de México. Rev. Ciencia y Desarrollo. México, D.F.: ed. -- CONACyT, año XIII, N° 73.
26. Guzmán, Wilfrido. El Sol y la energía fotovoltaica. Rev. Ciencia y Desarrollo. México, D. F.: ed. CONACyT. Vol. II, N° 28, 1979.
27. Haenel, R. Las fraguas de Vulcano., en Energías para el siglo XXI. Rev. El Correo de la UNESCO. México, D.F.: ed. UNESCO, - año XXXIV, 1981.
28. Hayes, Dennis. La energía Solar. Rev. Ciencia y Desarrollo. - México, D.F.: ed. CONACyT., Vol. II, N° 17, 1982.

29. Jimenez V., Roberto. Investigación de reactores, nuevo centro en México. Rev. Información Científica y Tecnológica. México, D.F.; ed. CONACyT. Vol. IV, N° 74, 1982.
30. Ladislao, Ulises. Petróleo y Geopolítica. Rev. Información Científica y Tecnológica. México, D.F.; ed. CONACyT, Vol. X, - N°146, 1988.
31. Lartigue G., Juan. Fisión o Ficción. Rev. Energía: Del fuego al átomo. México, D.F., ed. Taller editorial, año V, N° 48, - 1983.
32. Pease S., Rendel. Las promesas de la fusión. Rev. El Correo de la UNESCO. México, D. F., ed. UNESCO, año XXXIV, 1981.
33. Pato bamboleante, sistema para aprovechar la energía de las olas. Rev. Información Científica y Tecnológica. México, D.F. ed. CONACyT. Vol. III, N° 40, 1982.
34. Ponce, Antonio. La energía nuclear debe ser un factor de desarrollo Nacional. Rev. Energía: Del fuego al átomo. México, D. F., ed. taller editorial, año V, N° 48, 1983.
35. Repper, Luis. Energía del oleaje. Rev. Información Científica y Tecnológica. México, D.F.: ed. CONACyT, Vol. V, N° 82, 1983.
36. Riverón O., Silvia, El ciclo del combustible nuclear. Rev. -- Energía: Del fuego al átomo. México, D.F., ed. taller editorial, año V, N° 48, 1983.
37. Sassim, Wolfgang. Perspectivas del cambio. Rev. El Correo de la UNESCO. México, D.F., ed. UNESCO, año XXXIV, 1981.
38. Tonda, Juan. Lo que el viento no se llevó. Rev. Investigación

Científica y Tecnológica. México, D.F., ed. CONACyT. Vol. X,-
N° 146, 1988.

39. Tonda, Juan. El Tokama K. Rev. Información Científica y Tecnológica. México, D.F., ed. CONACyT., Vol IV, N° 63, 1982.
40. Zaric, Zoran. Inventario mundial de energía en Energías paralel siglo XXI. Rev. El Correo de la UNESCO. México, D.F., ed.-
UNESCO, año XXXIV, 1981.

PERIODICOS

41. Benet, Mercedes. "Fusión nuclear controlada y barata". En Periódico La Jornada. México, D.F., 27 de mayo de 1989.
42. Comas R., Oscar. "La fusión nuclear en frío". En periódico -- Uno más Uno. México, D.F., 26 de mayo de 1989.
43. Comisión Federal de Electricidad. "Plan de desarrollo nuclear eléctrico". En periódico La Jornada. México, D.F., 18 de marzo de 1982.
44. Galindo, Salvador. "Fusión nuclear y solar en frío". En Periódico La Jornada. México, D.F., 13 de agosto de 1989.
45. Lomas, Emilio. "Postergan la entrada en operación del proyecto Laguna Verde". En periódico La Jornada. México, D. F., 13-
de febrero de 1987.
46. Sin autor. "Descubren la fusión nuclear en frío". En Periódico La Jornada. México, D.F., 25 de marzo de 1989.