

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA



FUENTES ENERGETICAS EN MEXICO Y  
SUS POSIBILIDADES FUTURAS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A

GABRIEL ENRIQUE CARRILLO PEREZ

MEXICO, D. F.

1 9 7 3



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

CLAS. Tesis

ADQ. 1973

FECHA

PROC. Mit-56

A QUIENES DEBO LO QUE SOY:

DR. ELENO CARRILLO OROZCO

Y

SRA. ESPERANZA PEREZ DE CARRILLO

A TODOS MIS FAMILIARES

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE, SEGÚN EL TEMA:

PRESIDENTE: PROF. ENRIQUE VILLARREAL DOMINGUEZ.

VOCAL: PROF. HECTOR SIERRA ELIZONDO.

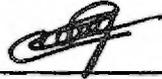
SECRETARIO: PROF. ARTURO LOPEZ TORRES.

1er. SUPLENTE: PROF. JUAN LARTIGUE GORDILLO.

2o. SUPLENTE: PROF. RUBEN ORTEGA CARMONA.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EN TEMA: Biblioteca de la Facultad  
de Química.

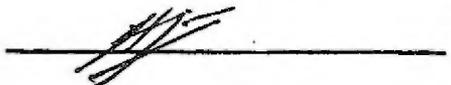
NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE: CARRILLO PEREZ GABRIEL ENRIQUE



---

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA

ING. HECTOR SIERRA ELIZONDO



---

A MIS MAESTROS, EN ESPECIAL  
A LOS MIEMBROS DEL JURADO, POR  
SUS ORIENTACIONES Y VALIOSOS  
COMENTARIOS, RECIBIDOS DURANTE  
LA ELABORACION DEL PRESENTE  
TRABAJO.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS.

# I N D I C E

INTRODUCCION - - - - -	Pág. 1
------------------------	-----------

## CAPITULO I

TIPOS Y CONSUMOS DE ENERGIA	3
-----------------------------	---

a) Energía calorífica - - - - -	4
b) Energía Eléctrica- - - - -	12
c) Consumos totales de energía- - - - -	19

## CAPITULO II

FUENTES DE ENERGIA EXCLUYENDO LA NUCLEAR	25
--	----

a) Energía solar- - - - -	26
b) Energía eólica - - - - -	30
c) Energía geotérmica - - - - -	35
d) Energía mareomotriz- - - - -	40
e) Energía térmica de los mares - - - - -	44
f) Energía proveniente de combustibles especiales - - - - -	51

## CAPITULO III

ENERGIA NUCLEAR	54
-----------------	----

a) Estructura del núcleo- - - - -	56
b) Estabilidad nuclear- - - - -	57
c) Reacciones de fisión - - - - -	60
d) Distribución de masa de los productos de fisión- - - - -	63
e) El reactor nuclear - - - - -	66
f) Clasificación de reactores - - - - -	68
g) Reactores de cultivo - - - - -	74
h) Tiempo de duplicación- - - - -	75
i) Potencia de un reactor - - - - -	78
j) Costo de un reactor nuclear- - - - -	79
k) Reacciones de fusión - - - - -	81

## CAPITULO IV

RESERVAS DE ENERGIA	88
---------------------	----

a) Reservas de carbón mineral - - - - -	88
---	----

b)	Procesos de gasificación - - - - -	Pág. 89
c)	Reservas de petróleo y gas natural - - - - -	103
d)	Reservas de materiales fisionables - - - - -	104
e)	Reservas totales de energía- - - - -	104

CAPITULO V

EL HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE EN EL FUTURO 106

a)	Obtención- - - - -	107
b)	Economía - - - - -	109
c)	Seguridad- - - - -	110
d)	Transporte y Almacenamiento- - - - -	110

COMENTARIOS- - - - -	113
----------------------	-----

BIBLIOGRAFIA - - - - -	115
------------------------	-----

## I N T R O D U C C I O N

Desde su aparición sobre la Tierra, el hombre ha tratado de invertir el menor esfuerzo en la consecución de sus satisfactores, y ello lo ha conducido a la creación de la técnica, para con ésta, aprovechar adecuadamente todos los recursos naturales, en su beneficio.

Durante muchos siglos, su trabajo solo fue complementado por el de los músculos de los animales, pero hasta épocas relativamente recientes, es que la participación del trabajo físico del hombre, ha disminuido, gracias a la aparición de las máquinas.

Este extraordinario descubrimiento, trajo como una de sus consecuencias, la necesidad de contar con los elementos adecuados para el correcto funcionamiento de las máquinas, ya sean combustibles, energía eléctrica o calorífica, lo cuál solo es posible transformado por métodos adecuados, las distintas fuerzas de la Naturaleza, mismas que han existido desde siempre.

La palabra ENERGIA, derivada del griego, "eficacia o fuerza activa", es la manifestación de la materia como su capacidad para realizar un trabajo y es una de las propiedades de ésta, que más interesan tanto al país más rico como al más pobre, ya que dependiendo de sus disponibilidades que tengan de ella, así se desarrollará o sucumbirá, pues cualquier actividad por muy sofisticada que sea, siempre esta relacionada en una u otra forma con la energía.

El objetivo de este modesto trabajo, es el de contribuir al estudio del siempre interesante tema de la energía, analizando las fuentes que utilizamos hoy en día, los consumos actuales y futuros, comparando las ventajas y desventajas de los métodos no convencionales de generación de energía, con respecto a los tradicionales; un breve estudio acerca de las reservas de los diferentes recursos nacionales y dando algunas sugerencias acerca de la forma en que se cree, se aprovecharían mejor nuestros recursos, -- pues como sabemos, en la actualidad, CASI TODA LA ENERGIA que consumimos, es generada a partir de los conocidos como combustibles fósiles los cuales no es posible obtener, ya que se han formado en el transcurso de miles de años, y que inevitablemente, disminuyen al aumentar las extracciones que se hacen de ello, dado su carácter de no renovabilidad.

## C A P I T U L O I

### TIPOS Y CONSUMOS DE ENERGIA

Las posibilidades de desarrollo de un país, dependen fundamentalmente de la variedad de fuentes energéticas que posea, así como de la explotación que se haga de ellas. Nuestro país, afortunadamente, cuenta con varias de ellas, las cuáles deben aprovecharse en una forma más adecuada con el objeto mantener el actual ritmo de trabajo, y asegurar con ello su progreso.

Todas las actividades económicas que se efectúan en nuestra Patria, aunque de muy diversa índole, están ligadas por un común denominador, que es la ENERGIA, misma que puede consumirse en forma de electricidad para mover máquinas, domésticas o industriales, en sistemas de calefacción, en iluminación, en servicios de transporte, etc., ó como energía calorífica que pueda transformarse a otros tipos, con el objeto de aprovecharlas según las necesidades que se tengan.

Cualquiera que sea la forma en que se aproveche la energía, es necesario que haya un sistema que la proporcione, recibiendo éstos el nombre de FUENTES GENERADORAS DE ENERGIA, que se clasifican en: Primarias y Secundarias.

Las Fuentes Primarias, son aquellas que proporcionan energía a partir de los recursos naturales, sean éstos renovables ó no renovables, y en cuya formación no ha intervenido el hombre.

Las fuentes Secundarias, producen energía utilizando com-

puestos fabricados por el hombre, ó sea que no se encuentran directamente en la Naturaleza, sino que su formación requiere de diferentes procesos.

La energía consumida en México, proviene de ambas fuentes - y los tipos más comunes son: CALORIFICA Y ELECTRICA.

#### ENERGIA CALORIFICA:

En su mayor parte, proviene de la utilización de combustibles, que pueden definirse como sustancias químicas, generalmente de naturaleza orgánica, cuyo uso principal es en la producción de calor. Estos se clasifican de acuerdo a su tiempo de formación en: Renovables y No Renovables.

#### Combustibles renovables:

Son aquellos de procedencia vegetal, entre los cuales se pueden mencionar el carbón vegetal, la leña ó madera y el bagazo de caña y aunque en la actualidad estos energéticos sólo contribuyen con una pequeña cantidad al consumo total de energía, se mencionan, debido a que en algunas regiones aún se utilizan, principalmente para fines domésticos.

El uso del carbón vegetal, cuyo poder calorífico es de 7.200 Kcal/Kg, es antieconómico para el país, ya que se produce por métodos demasiado primitivos, donde se pierden numerosas sustancias (alquitrán, ácido piroleñoso, benceno, naftaleno y coque, entre otras) que se producen al destilar adecuadamente la madera. Tampoco es conveniente que se siga utilizando la leña ó madera, --

cuyas propiedades varían según su contenido de humedad y su naturaleza, para el fin exclusivo de la producción de calor doméstico ó industrial ya que su uso excesivo origina la escasez de este producto natural tan valioso, cuya óptima utilización es en la producción de maderas comerciales y en la fabricación de pasta de celulosa.

En muchos de los ingenios azucareros, el bagazo proveniente de la molienda de la caña de azúcar, es secado y usado como combustible en las calderas que generan vapor para la propia industria; y aunque su poder calorífico es de 3,630 Kcal/Kg, no es recomendable que se siga utilizando ahí, ya que se puede aprovechar ventajosamente en la elaboración de pulpa de papel.

#### Combustibles No Renovables.

La generación de la mayor cantidad de energía en el país, se debe al consumo de los combustibles fósiles y sus derivados, que pueden clasificarse de acuerdo a su estado físico en:

SOLIDOS	{	Carbónes	{	Mineral Lignito Bituminoso Antracita
LIQUIDOS	{	Petróleo Crudo	{	Gasolinas Kerosinas Turbosinas Diesel Combustóleo
GASEOSOS	{	Gas Natural Gas Licuado de Petróleo Gas de Hulla		

## COMBUSTIBLES SOLIDOS :

El término genérico que se aplica a los combustibles sólidos, es el de carbones, ya que existe variedad de éstos, desde el lignito que es una especie de masa esponjosa con un alto contenido de humedad (33-43%) y un poder calorífico de 4,000 Kcal/Kg en base seca, hasta la meta-antracita, cuyo contenido de carbón es casi del 100 % y su poder calorífico: 8,000 Kcal/Kg.

La clase de carbón, se reporta siguiendo varios criterios, tales como su poder calorífico, su composición química ó el porcentaje de algún elemento en particular.

El poder calorífico de un carbón, puede estimarse con buen grado de exactitud a partir de su análisis elemental, utilizando la fórmula de Dulong:

$$Q = 1/100 \left[ 8072 \times \% C + 34\,425 (\% H - \% O_2/8) + 2\,248 \times \% S \right] \text{---}$$

Kcal/Kg

basada en los poderes caloríficos del carbón, hidrógeno y el azufre y en la que se supone que todo el oxígeno del carbón, está unido al hidrógeno, de manera que solo el hidrógeno sin combinar es el que proporciona calor durante la combustión. Los valores que se obtienen para el poder calorífico a partir de la relación anterior, es muy cercano al obtenido en las bombas calorimétricas.

La pirólisis de la mayoría de los carbones bituminosos, producen algunos hidrocarburos gaseosos, ácido sulfhídrico, resinas de diferentes pesos moleculares y dejan depósitos de coque, el cuál es utilizado en la fabricación de grafito para electrodos, como materia prima en algunas industrias químicas, como ---

agente reductor en siderurgia ó simplemente como combustible.

La temperatura final a la cual se calienta el coque durante el proceso de coquificación, determina la cantidad de materia volátil que permanecerá en él, misma que influye en la estructura y en la temperatura de ignición de el producto, teniéndose el coque de baja temperatura producido a 450°C que se utiliza principalmente en la fabricación de gases combustibles, mientras que - el coque de alta temperatura producido a 1,000°C, se emplea principalmente en la industria metalúrgica.

El poder calorífico de un carbón, depende de su composición y de su procedencia, siendo el intervalo de 6 000 a 7 230 - Kcal/Kg.

En nuestro país, estos energéticos ocupan el tercer lugar en importancia como fuente de energía, ya que su contribución, - es una cantidad equivalente al 4.4 %.

#### COMBUSTIBLES LIQUIDOS:

Aunque pueden utilizarse diversos líquidos orgánicos como combustibles, son los derivados del petróleo los que mayor consumo han tenido, debido en parte a que están constituidos por compuestos cuyo poder calorífico es alto y a la abundancia relativa que se dispone de ésta fuente.

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos que provienen de la descomposición de las sustancias orgánicas que constituyeron a plantas y animales hace millones de años, y es la principal fuente de hidrocarburos, desde los más sencillos hasta complejas cadenas ramificadas de 30 ó 40 átomos de carbono.

La destilación fraccionada del petróleo, conduce a numerosos productos algunos de los cuáles, se muestran en la siguiente tabla.:

Fracción	Temp. destilación °C	Número de átomos de carbono
Gas	Abajo de 20	C <sub>1</sub> - C <sub>4</sub>
Eter de petróleo	20-60	C <sub>5</sub> - C <sub>6</sub> .
Nafta ligera	60-100	C <sub>6</sub> - C <sub>7</sub>
Gasolina Natural	40-205	C <sub>5</sub> - C <sub>10</sub> y ciclo alcanos
Kerosina	175-325	C <sub>12</sub> -C <sub>18</sub> y aromáticos
Combustóleo	Arriba de 275	C <sub>12</sub> y mayores
Aceites lubricantes	Líquidos no volátiles	Grandes estructuras cíclicas.
Asfalto ó coque de petróleo	"	Estructuras poli cíclicas.

Un proceso más complejo que la destilación del petróleo, es la pirólisis conocida como cracking, del cuál, los tipos --- principales son:

a) Cracking térmico:

Consiste en hacer pasar al petróleo por una cámara que se encuentra a elevadas temperaturas, en donde los alcanos de cadenas largas se fragmentan formando moléculas más pequeñas de alquenos, así como acetileno e H<sub>2</sub>.

b) Cracking con vapor:

En éste proceso, la alimentación se diluye con vapor y se calienta a 800-900°C y luego se enfría rápidamente, con lo cuál se obtienen compuestos muy importantes como el acetileno, el etil

leno, propileno, isopreno, que son materia prima en la elaboración de numerosos compuestos.

c) Hidrocracking:

En ésta variedad, las reacciones se efectúan en presencia de hidrógeno a elevadas presiones y bajas temperaturas (250-450°C).

La mayor parte de los procesos de cracking, se destinan para la producción de combustibles en lugar de la fabricación de compuestos químicos, siendo el más usado el cracking catalítico, que se basa en que las fracciones del petróleo con alto punto de ebullición, como el combustóleo, al mezclarse con un catalizador a temperaturas de 450-550°C y presiones ligeras, aumenta las cadenas ramificadas y el número de alquenos, mejorando con ello el rendimiento de las gasolinas.

En los procesos de alquilación, los alcanos de pequeño peso molecular, se convierten en combustibles sintéticos de alto octano, aunque otros procesos de tratamiento del petróleo, como la refinación catalítica, en la que los hidrocarburos alifáticos se convierten en hidrocarburos aromáticos, que son mejores combustibles, y a su vez, base para la fabricación de numerosos compuestos.

Como ya se dijo anteriormente, el destino principal de las fracciones ó derivados del petróleo, es como combustibles, ya sea en maquinas de combustión interna que utilizan líquidos altamente volátiles, ó que se consuman en calderas, motores diesel u otros fines.

Los consumos registrados en el país, en los últimos años, se muestran en la siguiente tabla:

año	Gasolinas $10^3 \text{ m}^3$
1955	3 155 691
1960	4 738 234
1965	5 862 866
1970	8 909 134

Donde se observa el aumento considerable de el consumo de éste tipo de energéticos, que para la mayoría de los derivados -- del petróleo, presentan una tendencia lineal y en algunos casos - cuadrática.

En el año de 1970, la producción energética nacional a partir de los derivados de petróleo, alcanzó el 53 % de la generación total.

#### COMBUSTIBLES GASEOSOS:

Los de mayor demanda en la actualidad, también son derivados del petróleo ó de el gas natural que se encuentra en los yacimientos petrolíferos. En cantidades mucho menores se consume el gas de hulla.

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos cuya composición es variable, pero que está formado principalmente por metano, y por cantidades decrecientes de alcanos de mayor peso molecular. según lo muestra la tabla:

COMPONENTE	% EN VOLUMEN
Metano	90.12
Etano	4.03
Propano	1.52
n-Butano	0.73
i-Butano	0.36

n-Pentano	0.50
n-Hexano	0.16
n-Heptano	0.25
CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> y S	Variable

El poder calorífico de éste importante energético, varía - según la composición, pero puede considerarse como valor promedio el de 13,900 Kcal/Kg .

La producción del gas natural para fines comerciales, es - muy sencilla, ya que al ser extraído de los pozos, se somete ex- clusivamente a procesos de absorción y de desulfurización, por lo cual en nuestro país, la producción excede a la demanda, con lo - que se está en posibilidades de exportarlo ó de reinyectarlo a -- los pozos.

El gas licuado de petróleo, es un subproducto de la refina- ción del petróleo y a diferencia del gas natural, su producción - está limitada a la capacidad de refinación de las plantas existen- tes, y México se ha visto en la necesidad de importar cantidades- crecientes año con año de éste energético, hecho que perjudica la economía del país al originar una fuga de divisas considerable, -- por ejemplo, en el año de 1970, se pagaron por éste concepto ---- \$ 270 000 000.00 ya que se importaron  $737 \times 10^6$  Kg., cantidad que- representa el 40% del consumo total en ese año.

La composición del gas licuado de petróleo, es ligeramente variable y su poder calorífico es de 22 200 Kcal/m<sup>3</sup> para el de ma- yor contenido de propano y de 29,400 Kcal/m<sup>3</sup> para el más rico en- butano.

Al igual que todos los combustibles, los consumos de los--

gaseosos, han registrado marcados aumentos en los últimos años, - como se muestra a continuación:

AÑO	Gas Natural $10^3 \text{ m}^3$	Gas L.P. Ton
1955	1 320 493	211 084
1960	3 613 538	677 180
1965	8 930 110	1 363 361
1970	11 798 090	1 954 711

La contribución de éstos energéticos a la producción total de energía equivale al 39.6 % de la producción energética nacional.

En el año de 1970, el consumo de gas de hulla, fué de 192 121 000  $\text{m}^3$ .

Analizando los datos anteriores, debe hacerse notar la necesidad de un aprovechamiento más adecuado del gas natural, ya -- que aparte de sustituir las importaciones de gas L.P., traerá como consecuencia importantes ahorros en los costos de distribución, existirán suministros seguros y disponibilidad inmediata. También debe mencionarse que la tasa de producción ha aumentado en los últimos años, a tal grado que México ocupa el 5/o lugar de un grupo -- de 34 países productores de éste energético.

#### ENERGIA ELECTRICA:

La electricidad, constituye otro de los energéticos consumidos en grandes cantidades, siendo su destino principal en actividades productivas (80%) y el resto se utiliza en alumbrado, generándose en plantas térmicas o hidroeléctricas, principalmente.

En la última década, se ha registrado un aumento considerable en el consumo de éste energético, originando una situación en

la que la capacidad de reserva sea mínima y por lo tanto, que se haya efectuado una campana para el ahorro de ésta.

La estructura de generación de la electricidad en el país, se muestra en la siguiente tabla:

AÑO	CAPACIDAD HIDRAULICA		CAPACIDAD TERMICA		CAPACIDAD TOTAL Mw
	Mw	%	Mw	%	
1950	607	49.16	628	50.84	1 235
1955	922	47.79	1 007	52.21	1 930
1960	1 328	43.96	1 693	56.04	3 021
1965	2 249	42.30	3 062	57.70	5 311
1971	3 310	41.70	4 635	58.30	7 945

Donde puede observarse, que hay una marcada disminución en la participación de la energía hidráulica en el lapso indicado y un aumento del porcentaje de la capacidad térmica, cosa que no debería suceder, ya que si bien es cierto que el costo por unidad de capacidad instalada es mayor en las plantas hidroeléctricas, sus costos de generación son 28.3% menores, además de crear empleos en las zonas del país más necesitadas y que evitan el consumo de combustibles fósiles que no solamente se agotan en México, sino a nivel mundial.

Haciendo una comparación entre el aumento de la población y el incremento del número de consumidores, se observa que éste último, ha superado ampliamente al crecimiento demográfico que fué de 3.46% en 1970 con respecto a 1969, mientras que el incremento anual de consumidores fué de 12.3 %, lo cual indica la necesidad de desarrollar más la industria eléctrica, con objeto de poder satisfacer adecuadamente las crecientes demandas de éste energético,

que ha registrado los siguientes consumos:

AÑO	10 <sup>3</sup> Kwh
1955	7 563 019
1960	11 371 196
1965	17 362 533
1970	28 798 659

Diferentes estudios, han arrojado como resultado que el potencial hidroeléctrico de México es de 15 000 Mw, de los cuales - sólo se utiliza el 20%, ya que la capacidad instalada es de 3.310 Mw.

El tiempo de duplicación de ésta fuente, no se puede conocer exactamente debido a la anual variación del regimen de lluvias, pero puede suponerse, que es, aproximadamente igual, a 8-9 años, por lo que se estima que para 1990, ésta fuente habrá alcanzado - su total desarrollo.

La electricidad generada a partir de la energía hidráulica, representa en la actualidad el 3.5% de la producción energética - nacional.

#### Fuentes electroquímicas:

El extraordinario avance tecnológico que caracteriza a --- nuestra época, ha forzado a los investigadores a diseñar dispositivos generadores de energía cada vez más eficientes, económicos- y de fácil construcción y transporte, con objeto de utilizarse en las más variadas actividades.

El ejemplo más ilustrativo de éste hecho, lo constituyen - las fuentes electroquímicas de corriente, que se definen como --- aquellos sistemas cuya función principal es la de convertir energía química en eléctrica, y que se componen de 2 electrodos sepa-

rados por un conductor, siendo más conocidas como pilas, baterías, ó acumuladores.

Las fuentes electroquímicas de corriente, pueden clasificarse en:

- 1.- Pilas primarias
- 2.- Pilas secundarias
- 3.- Pilas de combustión

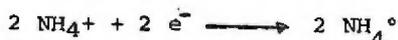
#### Pilas Primarias

Las pilas primarias ó irreversibles, son aquellas en que la interconversión recíproca de energía química y eléctrica, no es posible, ya que sólo se produce energía eléctrica aprovechable durante la descarga y aunque se aplique una corriente eléctrica externa, el sistema no se puede desplazar en forma opuesta. Las principales celdas de éste tipo son:

- a) Pilas secas, que trabajan con electrolitos semisólidos.
- b) Pilas de electrolito sólido.
- c) Pilas de reserva

La más conocida y utilizada de las pilas secas, es la de Leclanché, cuyo esquema es:  $Zn_{(s)} \mid NH_4Cl \parallel MnO_2 \mid C_{(s)}$   $E_c = 1.50v$  y que está estructurada en un vaso de zinc que funciona como ánodo y en donde se efectúa la reacción:  $Zn + 2 Cl^- \rightarrow ZnCl_2 + 2 e^-$ ; utiliza como despolarizante al bióxido de manganeso con 10% de carbón y un poco de humedad, mientras que el electrolito está formado por la siguiente mezcla: 27%  $NH_4Cl$ , 20%  $ZnCl_2$ , 3% Almidón y 50% agua.

Los iones  $NH_4^+$  van al cátodo de carbono y se reducen:



y como los grupos  $\text{NH}_4^\circ$  son inestables, se mezclan con el despolarizante  $\text{MnO}_2$ , produciendo amoníaco:  $\text{MnO}_2 + 2 \text{NH}_4^\circ \rightarrow 2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{Mn}_2\text{O}_3$  - el cuál, se asocia con el cloruro de zinc, para formar el cloruro de aminocinc:  $2 \text{NH}_3 + \text{ZnCl}_2 \longrightarrow \text{ZnCl}_2 \cdot 2 \text{NH}_3$

Otra celda que se utiliza ampliamente, es la pila alcalina de óxido mercuríco y zinc, que es un sistema electroquímico formado por un ánodo de zinc puro amalgamado, frente a un cátodo de -- HgO (despolarizante) y carbón; ambos electrodos, inmersos en una solución concentrada de KOH y saturada con  $\text{K}_2\text{ZnO}_2$ , según lo muestra el diagrama :  $\text{Zn} \mid \text{KOH} \parallel \text{HgO} \mid \text{C}$ , generando en éstas condiciones 1.35 v. Las ventajas de ésta celda son la de poseer una fuerza -- electromotriz estable, soporta corto-circuitos momentáneos sin dañarse permanentemente, tiene una elevada relación energía-volumen en comparación con las otras pilas secas y su principal desventaja comparada con la celda de Leclanché, es su alto costo, debido a -- los materiales que utiliza.

## 2.- Pilas Secundarias:

Son sistemas electroquímicos cuyas reacciones son reversibles, es decir, que la energía química y la eléctrica, se convierten recíprocamente en un número indefinido de ciclos. Se conocen -- también como acumuladores, término que se utiliza erróneamente, -- ya que las pilas no almacenan electricidad, sino energía química, que cuando se requiera, pueda ser convertida en eléctrica.

La clasificación que se hace de este tipo de celdas, es en función del tipo de electrolito que interviene: ACIDOS y ALCALINOS. Los principales materiales que son reversibles, son:  
ANODO : Cd, Fe, Pb, Zn.

CATODO :  $PbO_2$ ,  $NiO_2$ , Hgo y  $Ag_2O$

Existiendo 16 posibilidades para su combinación, pero las más utilizadas son el acumulador Plomo-ácido y el Níquel-Fierro.

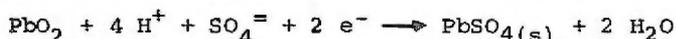
Acumulador Plomo-Acido:

Está constituido por un juego de placas de plomo que actúan como electrodo negativo y placas positivas de plomo embebidas en bióxido de plomo y el electrolito es una solución de aproximadamente 20 % de ácido sulfúrico, con una densidad relativa igual a 1.15 a temperatura ambiente.

Cuando se descarga, el plomo se disuelve en el electrodo negativo, para formar iones plomo, los cuales se combinan con los iones sulfato, precipitando como sulfato de plomo, según lo indica la reacción:



mientras que en el electrodo positivo, ocurre lo siguiente:



Como el ácido sulfúrico es consumido durante la operación, disminuye la densidad relativa del electrolito durante la descarga, lo cuál afecta al valor del potencial generado, mismo que varía de 1.90 a 2.15 v. Para recargar un acumulador, debe aplicarse un potencial externo, que tiene que ser mayor que el generado por la celda, con el objeto de desplazar la reacción en el sentido opuesto, es decir que durante ésta electrólisis, se deposita en el cátodo plomo y en el ánodo se forma el dióxido de plomo, regenerándose también, el ácido sulfúrico. Este acumulador es una celda muy eficiente, ya que al descargarse, rinde del 90 al 95% de la energía eléctrica que se le proporcionó.

Producción de fuentes electroquímicas:

Debido a las numerosas ventajas que presentan éste tipo de fuentes de energía, han tenido extraordinarios avances en los últimos años, en el consumo de ellos, ya que presentan ventajas de ser fuentes limpias, de poco peso y a su vez económicas, que se emplean con eficacia en todos los aparatos portátiles, para sorde ra, teléfonos, linternas, grabadoras, etc.

En el año de 1965, se registraron los siguientes valores de producción de las diferentes fuentes electroquímicas.

	Piezas
Acumuladores Industriales	2 929
" para acetileno	4 477
" automotrices	784 954
Baterías para radio	9 516 167
Pilas para linterna	153 073 000
Pilas secas	26 792 000
Baterías otros usos	75 291

En el año de 1970, ésta ascendió a los siguientes valores;

Acumuladores industriales	33 000
Acumuladores para vehículos	860 000
Pilas *	234 887 000

y en el año de 1971, los valores son:

Acumuladores industriales	38 547
" automotrices	888 486
Pilas *	218 656 000

(\* ) Incluye pilas y baterías para radio.

De los datos anteriores, se observa que el desarrollo global de la industria electroquímica nacional, ha alcanzado desarrollos anuales de 10 a 12%.

#### CONSUMOS TOTALES DE ENERGIA

A continuación, se muestran los consumos de energía registrados en el país en la última década, en millones de toneladas equivalentes de carbono:

AÑO	SOLIDOS	LIQUIDOS	GASEOSOS	ELECTRICIDAD	TOTAL
1962	1.1162	22.1040	10.3670	0.7510	34.3840
1963	1.2890	22.6160	11.3700	0.8270	36.1020
1964	1.3520	24.7870	13.9310	0.9030	40.9730
1965	1.0510	25.5130	14.1450	1.0840	41.7930
1966	1.4380	23.9730	18.4220	1.2790	45.1120
1967	1.6160	26.9800	20.1080	1.3930	50.0970
1968	1.8970	29.8160	20.3130	1.5980	53.6240
1969	2.0980	29.1730	21.5480	1.6970	54.5160

En el caso de la electricidad, el dato se refiere a la generada por plantas hidroeléctricas, mientras que la obtenida en plantas termoeléctricas, se incluye en los consumos de los respectivos combustibles.

El índice de crecimiento en el consumo de energéticos para el período mencionado, fué de 6.85 %, lo cual indica que cada vez se necesitan mayores cantidades de energía, hecho que se debe principalmente a los siguientes factores:

- 1.- Al aumento del número de habitantes
- 2.- Al aumento en el consumo de energía per cápita

Los datos anteriores, se muestran en la siguiente gráfica -

N/o 1 :

#### CONSUMOS PER CAPITA ACTUALES Y FUTUROS

El problema de calcular la cantidad de energía que el país necesitará en años venideros, es sumamente complejo, pero se hará una estimación aproximada tomando en cuenta el índice de crecimiento de la población y la tasa de desarrollo del consumo de energía per cápita.

La población se estimó a partir de la siguiente relación:

$$P_t = P_{70} (1 + r)^{\Delta t}$$

$P_t$  = Población estimada en el año deseado

$P_{70}$  = " censada en el año de 1970.

$r$  = Tasa media anual de incremento de la población

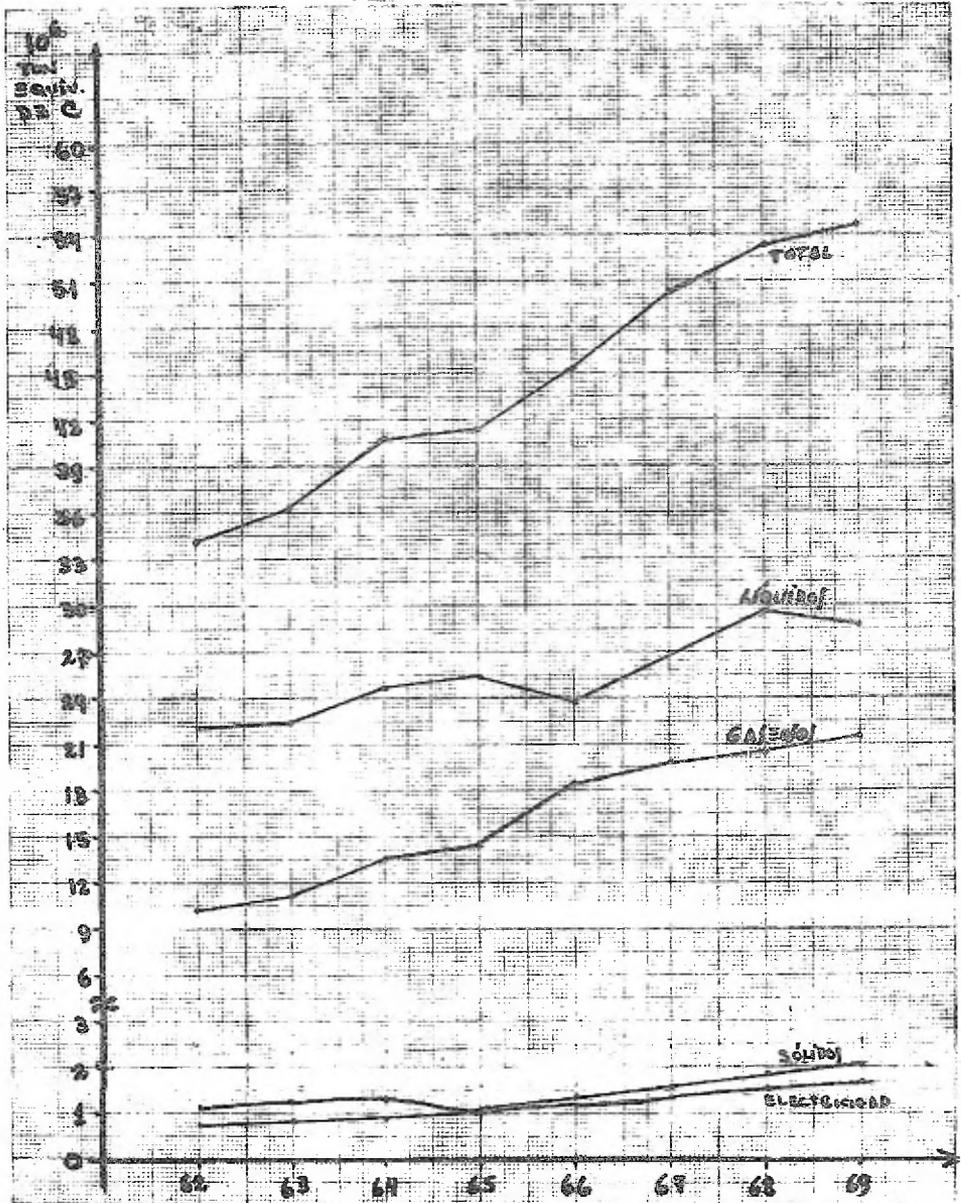
$\Delta t$  = Tiempo entre el momento del censo y el de la estimación =  $t - 1970$

La tasa de incremento de la población, se calculó con los datos censales de 1960 y 1970, según la siguiente relación:

$$r = 10 \sqrt[10]{P_{70} / P_{60}} - 1$$

$P_{70}$  = Población al final del periodo (1970)

GRAFICA No. 1

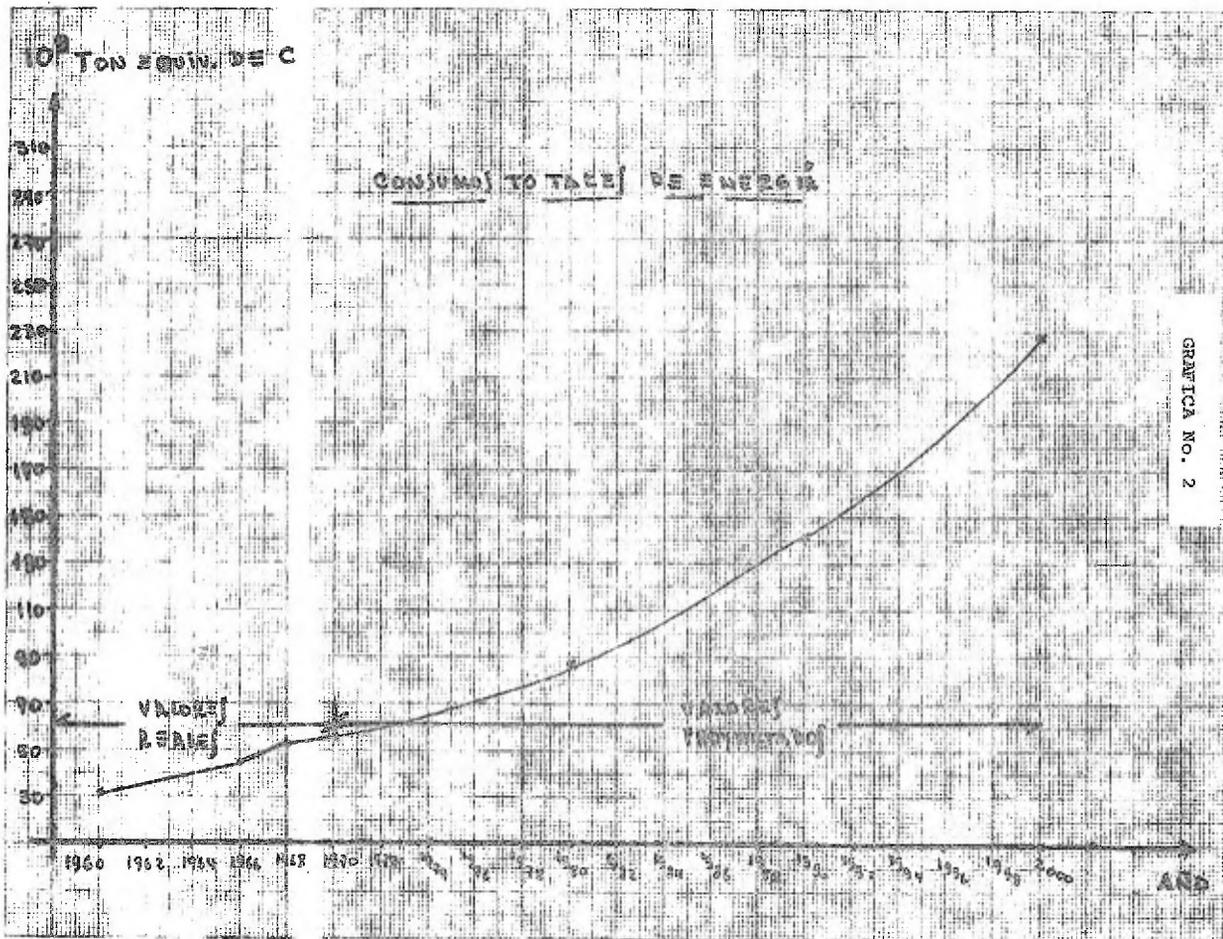


P<sub>60</sub> = Población inicial (1960)

Utilizando una metodología similar, se proyectaron los consumos de energía per cápita, llegándose a los siguientes resultados:

Año	PROYECCIONES PARA				
	A C T U A L		1980	1990	2000
Habitantes (10 <sup>6</sup> )	1960 35.0	1970 48.4	66.8	93.6	133.0
Energía consumida per cápita en Ton equivalentes de C	890	1 134	1 300	1 520	1 720
Consumo total de energía en millones de Ton. eqs. de C	31 150	54 885	86 840	142 272	228 000

RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN LAS GRAFICAS " 2 y 3"

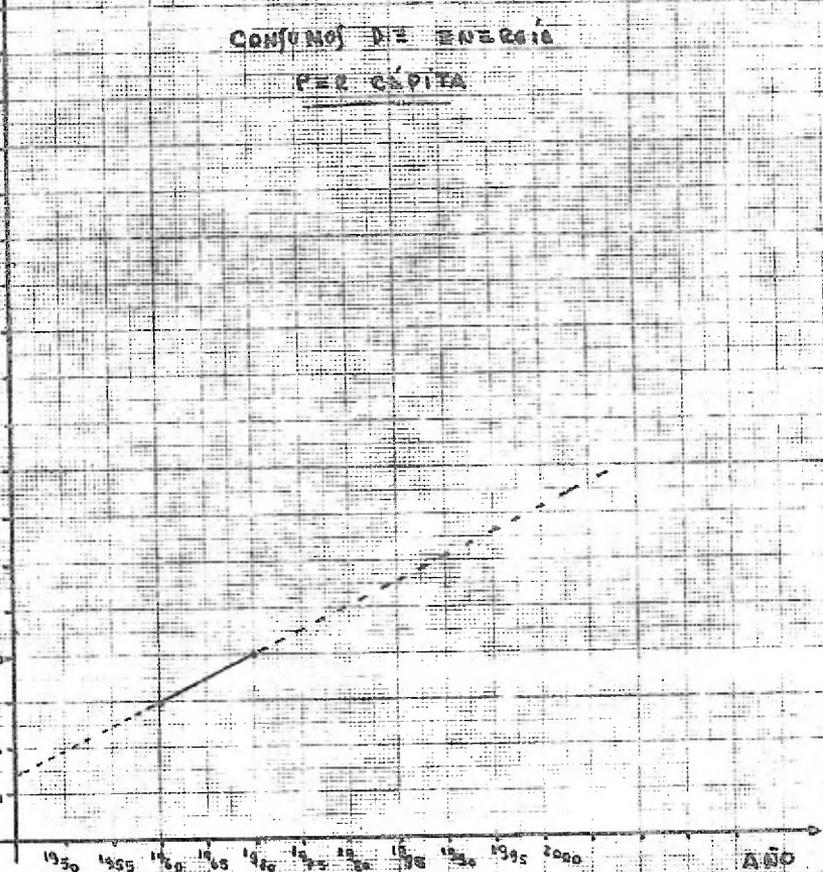


GRAFICA NO. 2

GRAFICA No. 3

TON  
EQUIV.  
DE  
C

CONSUMO DE ENERGIA  
PER CAPITA



## C A P I T U L O   I I

## FUENTES DE ENERGIA EXCLUYENDO LA NUCLEAR

En el capítulo anterior, se mencionaron las fuentes de energía utilizadas en la actualidad, mismas que en un futuro no muy lejano, se agotarán y traerán como consecuencia la paralización de las actividades que dependen de ellas.

Afortunadamente, la mente humana es capaz de idear métodos adecuados para el aprovechamiento de los recursos terrestres, y -- por lo tanto, no debe intimidarnos el hecho de que los recursos no renovables se agotan, ya que se puede generar energía a partir de otras fuentes poco estudiadas, que requieren de un análisis e investigación más profundos en fechas próximas, antes de que los suministros de energía presenten mayores problemas.

El objetivo de éste capítulo, es el de analizar las fuentes no convencionales de energía, mostrando las ventajas y desventajas y la posibilidad de utilizarlas en el país.

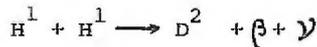
Se consideran como fuentes no convencionales, las siguientes:

- a).- Energía solar
- b).- " eólica
- c).- " geotérmica
- d).- " mareomotriz
- e).- " térmica de los mares
- f).- " proveniente de combustibles especiales.

## ENERGIA SOLAR:

Esta importante fuente energética, es la causante de que en el transcurso de miles de años, se hayan formado los combustibles-fósiles que actualmente utilizamos, además de que interviene en la formación de los alimentos por medio de las reacciones de fotosíntesis entre el anhídrido carbónico y el agua en las plantas en desarrollo y que es una poderosa bomba que eleva enormes cantidades de agua para después retornarla a la Tierra en forma de lluvia.

Las responsables de la producción de esta enorme cantidad de energía, son las reacciones de fusión que ocurren en el Sol, en donde se ha estimado que la temperatura en el interior, alcanza --  $15 \times 10^6$  °C, y en su superficie es de  $1 \times 10^6$  °C; ya que cada segundo se transforman  $4 \times 10^6$  Ton. de hidrógeno, según lo indican las reacciones:



Esta energía es emitida en un espectro continuo en la zona-visible, teniendo varios cientos de rayas de absorción, aunque el espectro completo, va desde las ondas de radio hasta más allá del ultravioleta. La cantidad de energía que libera el Sol, se conoce como Constante Solar y equivale a  $2.0 \text{ Cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  y de la cuál-sólo llega la Tierra, una parte, ya que gran cantidad de ésta se -

dispersa en el espacio.

La radiación solar se mide en Langley/min, siendo éste equivalente a una caloría de energía radiante por centímetro cuadrado, registrándose valores máximos de aproximadamente 1.5 langley/min.

Suponiendo que la radiación solar sea de 1 langley/min, un metro cuadrado recibirá 10,000 cal/min y si el tiempo de exposición a dicha radiación es de 8 horas, se recibirán aproximadamente  $5 \times 10^8$  cal, misma que equivalen al calor liberado por la combustión de 53 litros de gasolina, ó, que convertidos a energía eléctrica con una eficiencia del 10%, daría aproximadamente 7 Kwh.

Las aplicaciones que tradicionalmente se le han dado a la energía solar, son en calentamiento de agua para usos domésticos, secado de productos agrícolas y concentración de salmueras, en donde los rendimientos son muy bajos ya que su utilización es directa. Si se desea aumentar la eficiencia en su empleo, es necesario usar equipo especial para tal fin.

#### Concentración de la energía solar:

La forma más sencilla de lograrlo, es enfocando un espejo plano sobre un mismo cuerpo, pero como un espejo de éste tipo sólo puede concentrar un haz de rayos paralelos, es más práctico utilizar un mayor número de espejos de área individual menor, que en el caso del espejo parabólico se obtiene la mayor eficacia, ya que equivale a un número infinito de espejos planos con áreas muy pe-

queñas, los cuáles están concentrando los rayos en un sólo punto.

Se han diseñado y construído, hornos solares con espejos parabólicos de aluminio, que están equipados con un sistema de relojería con el objeto de seguir la trayectoria del sol y aprovechar más la energía.

También pueden utilizarse lentes, pero éste arreglo es menos empleado, ya que su montaje es más laborioso, y que el costo aumenta considerablemente al aumentar el tamaño de equipo.

Se han propuesto varios tipos de montaje de lentes, con objeto de aprovechar al máximo éste tipo de energía, siendo los más comunes los que se muestran a continuación en la figura No. 4:

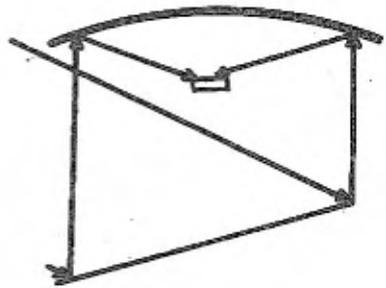
Otra forma de aprovechamiento adecuado de la energía solar, es generando electricidad empleando las conocidas celdas fotoeléctricas, las cuáles están formadas por elementos del IV grupo como silicio o germanio, y en donde la energía solar es suficiente para liberar a los electrones de dicho cristal.

Una sola celda fotoeléctrica, genera un pequeño voltaje, -- por lo cuál, es necesario colocar un gran número de ellas, obteniéndose alrededor de 100 watts por cada metro cuadrado de superficie expuesta al Sol, siendo la eficiencia de una batería de este tipo de un 12 %.

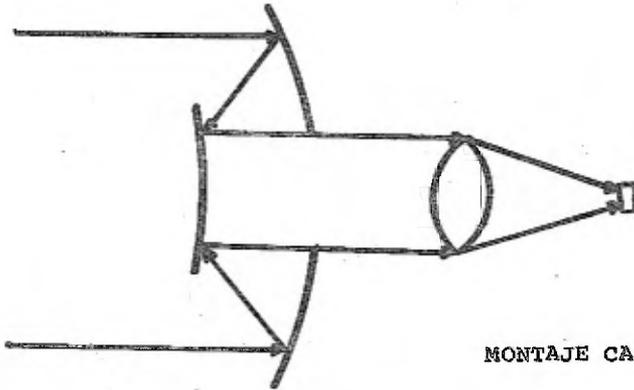
Cuando se usa un recolector solar, se pueden hacer destilaciones de mezclas binarias o utilizar el calor generado, en secado

FIGURA No. 4

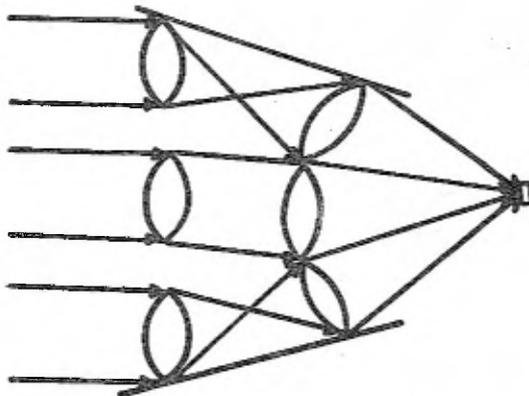
MONTAJE NEWTONEANO



MONTAJE HELIOSTATICO



MONTAJE CASSEGRAIN



MONTAJE EMPLEADO POR EL INSTITUTO TECNOLOGICO DE CALIFORNIA

industrial indirecto, en donde una corriente de aire se calienta -- por medio de energía solar y mediante el uso de ventiladores se -- hace pasar el aire caliente sobre el material por secar, aumen-- tando su eficiencia. Cuando se utilice la energía solar para hacer una destilación ó simplemente que se desee que un líquido almacene parte de éste calor, es necesario que el líquido tenga una presión de vapor baja, que no sea tóxico ni inflamable, que sea económico-- y que su capacidad calorífica sea grande, con lo cuál se puede uti-- lizar equipo de dimensiones más pequeñas, aumentar el rendimiento-- en la Transferencia de calor y disminuir el costo del proceso.

La utilización de la energía solar, presenta la ventaja de-- que no requiere de un combustible y por ello que su uso sea muy -- económico, que no hay productos de combustión que contaminan el -- ambiente y que se puede recolectar en el sitio mismo en donde se-- necesita, reduciendo con ello los gastos de transporte. Dentro de-- las desventajas, están el de requerir de grandes áreas para su re-- colección debido a su baja intensidad, de que es intermitente, ya -- que hay continuas interrupciones en días nublados y en la noche, y que el equipo necesario para aprovecharla, aumenta su costo consi-- derablemente al aumentar su tamaño.

#### ENERGIA EOLICA:

El viento se ha utilizado desde tiempos remotos principal-- mente para accionar barcos de vela, molinos de viento y dispositi-- vos para extraer agua, y aún sigue constituyendo una poderosa fuen

te energía ya que puede considerarse como gratuita e inagotable y que su empleo no produce efectos perjudiciales en las zonas donde se emplea ó sobre sus habitantes, además de que las instalaciones de éste tipo no ocupan gran espacio.

El principal inconveniente, es la irregularidad de la velocidad del viento en determinado y lugar y que no siempre hay velocidades aprovechables, por lo cuál es necesario el uso de equipos de almacenamiento de energía para producirla posteriormente en períodos de calma.

Cualquiera que sea la finalidad de una instalación anemotriz, ésta deberá estar constituida por las siguientes partes:

1.- Un rotor al que hace girar el viento, tomando una parte de la energía cinética existente en la columna de aire en movimiento.

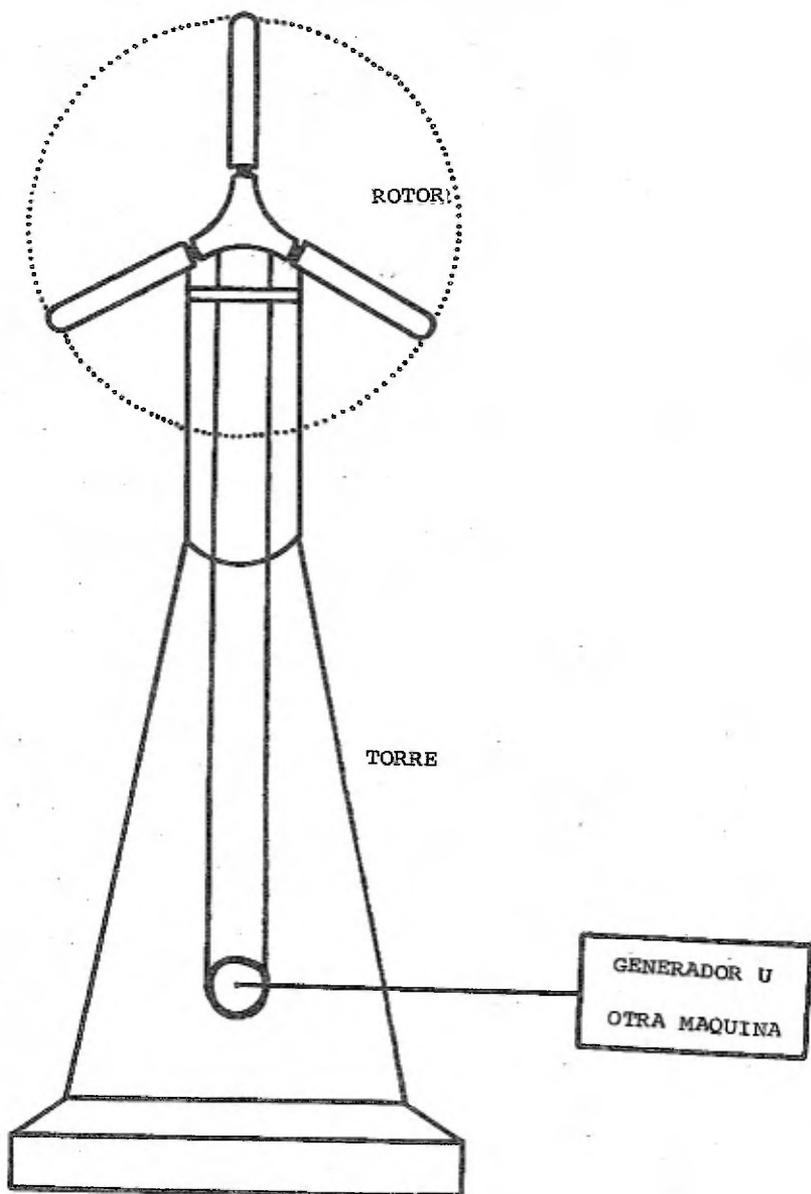
2.- Una torre para el rotor, la cuál le permite estar a una distancia suficiente del suelo y que encuentre a las capas de aire que se desplazan a mayor velocidad, evitando con ello riesgos a los seres vivientes.

3.- Un mecanismo que convierta el efecto giratorio del rotor en otro tipo de energía aprovechable, ya sea mecánica al mover una máquina o eléctrica si se cuenta con un generador.

Una instalación anemotriz sencilla, se muestra en la siguiente figura:

La energía del viento, considerada como una columna de aire

ESQUEMA DE UNA INSTALACION ANEMOTRIZ



que se desplaza horizontalmente, es proporcional a la sección transversal de dicha columna y al cubo de su velocidad, de acuerdo a la relación:

$$E_v = 0.000664 a \cdot v^3$$

$E_v$  = energía del viento en Kw

$a$  = área de la circunferencia descrita por el volante en  $m^2$

$v$  = velocidad del viento en m/seg.

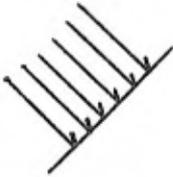
Se ha encontrado que las velocidades útiles para generar energía, deben ser mayores de 40 km/hr, y con el objeto de estimar si es posible que una instalación anemotriz funcione en un lugar determinado, es necesario conocer la velocidad media anual, la cual se determina haciendo mediciones de la velocidad del viento cada hora, durante un año, valor que promediado, pueda considerarse como constante.

Con el objeto de aprovechar adecuadamente la energía eólica, se deberán diseñar las instalaciones anemotrices en forma tal que reúnan los requisitos de ser una estructura ligera y económica y a la vez, bastante resistente a los esfuerzos desarrollados por el viento.

La paleta, deberá tener un mecanismo que haga variar el ángulo de ataque del aire a las hojas, con el objeto de aumentar la eficacia, que en la actualidad registra valores máximos de 20-30%,

aunque, el Ing. Aladar de la Sociedad Científica Húngara, ha comprobado que el aire no sopla formando un cierto ángulo con la horizontal como se creía, sino que el frente de avance del aire es inclinado, más no la línea de corriente, como se muestra en la figura:

Teoría antigua



Teoría Ing. Aladar



Cada instalación anemotriz, tiene un tiempo de vida útil, - el cuál, depende de las condiciones climatológicas del emplazamiento elegido para su funcionamiento y que es variable para cada parte del conjunto.

El costo de la unidad de energía generada por el viento, se calcula dividiendo los costos totales anuales entre la energía generada y como no hay gasto de combustibles, puede considerarse que los costos de explotación son proporcionales a los de construcción, ya que los costos de mantenimiento se reducen exclusivamente a pintura y lubricación.

En los E.E.U.U., se han hecho estudios utilizando diferentes materiales como madera, plásticos y aleaciones de acero-aluminio, con el resultado de que aquellas instalaciones dotadas de generadores Smith-Putman de 1,250 Kw, se han podido fabricar en se--

rie con un costo de alrededor de \$ 2,375.00 / Kw, por lo que la energía producida por ésta fuente es más cara que la producida en las plantas convencionales.

Considerando el hecho anterior, se puede decir que éste tipo de instalaciones no pueden competir en la actualidad con --- otras fuentes generadoras de electricidad, a menos que se logran reducir considerablemente los costos, con lo que en el futuro podría constituir una fuente complementaria adecuada.

#### ENERGIA GEOTERMICA:

La energía geotérmica es aquella que proviene del subsuelo y que principalmente se encuentra almacenada en forma de agua caliente ó vapor a diferentes profundidades, en donde ha alcanzado el equilibrio térmico y de presión con el medio que le rodea a -- través de muchos siglos.

El calentamiento del agua en el subsuelo, se produce por -- conducción del calor y por los gases magmáticos que escapan por -- las fallas ó fisuras originadas por movimiento tectónicos y que -- se ponen en contacto con reservorios de agua confinados, los cuá-- les través del tiempo y por corrientes de convección llegan a nor-- malizar su temperatura. Algunos estudios indican que éstos reser-- varios son recargables, es decir, que están alimentados por co--- rrientes de agua superficiales, lo cuál hace que su vida sea lo -- suficientemente grande como para planear su utilización a largo -- plazo.

El vapor llega a la superficie siguiendo una serie de fallas en la corteza terrestre y se manifiesta en diferentes formas: escapes de vapor, lagunas hirvientes, fumarolas, etc.. Las técnicas de exploración de estos recursos se basan en estudios geofísicos de -- gravimetría, magnetometría, resistividad, así como en estudios ge-- químicos en aguas, gases y rocas; el flujo de calor y las medicio-- nes de temperatura superficiales, ó con perforaciones someras, sir-- ven para estimar el potencial del campo geotérmico, siendo las téc-- nicas de barredores térmicos de infrarrojo las más avanzadas.

Los métodos geotermoquímicos son de gran ayuda para el cono-- cimiento de las condiciones existentes en el subsuelo de una zona -- geotérmica, ya que el análisis ayuda a definir el tipo de reservo-- rio, así como la temperatura del subsuelo y aún las presiones de -- descarga que se tendrán en los pozos perforados.

Existen 2 tipos de pozos productores de vapor:

1.- Los pozos que producen vapor seco o saturado, en los cuáles el vapor se envía directamente a las turbinas, sin necesidad de puri-- ficaciones complejas, ya que sólo es necesario eliminar las partí-- culas de polvo que arrastra el vapor.

2.- Pozos cuya producción es de agua sobrecalentada que al-- llegar a la superficie y encontrarse a una presión menor, se con-- vierte parcialmente en vapor obteniéndose en la cabeza del pozo -- una mezcla vapor-agua, que se separa por medio de separadores cen-- trífugos instalados en la cabeza del pozo.

El agua separada contiene determinada cantidad de sales, -- principalmente cloruros alcalinos, por ejemplo en el caso de Cerro Prieto B.C., las concentraciones de NaCl, KCl y LiCl, son superiores a las del agua de mar, por lo que se ve la posibilidad de aprovecharlas industrialmente.

El vapor obtenido en los separadores, se envía a cabezales-- en donde se conectan a ramales laterales provenientes de otros pozos y al llegar a la planta se hacen pasar por separadores secundarios con el objeto de eliminar las partículas de agua que lograron condensarse en el trayecto y finalmente el vapor pasa por turbinas de tipo convencional y de éstas a condensadores de tipo barométrico,-- enviándose la mezcla a una torre de enfriamiento de donde se recircula al condensador.

Todos los demás aspectos de una planta geotérmica, son idénticos a los de las plantas termoeléctricas convencionales de vapor.

Una de las grandes ventajas del aprovechamiento de la energía geotérmica, es la de ser una forma económica de producir electricidad y de que contribuye a la disminución del uso de combustibles fosiles y por lo tanto al no haber combustión, no se incrementa la contaminación ambiental.

Dentro de las desventajas que se presentan en la utilización de fluidos geotérmicos, es que requieren materiales especiales resistentes a la acción corrosiva de los gases ó del agua salina, lo cuál eleva el costo de la producción, ya que previamente --

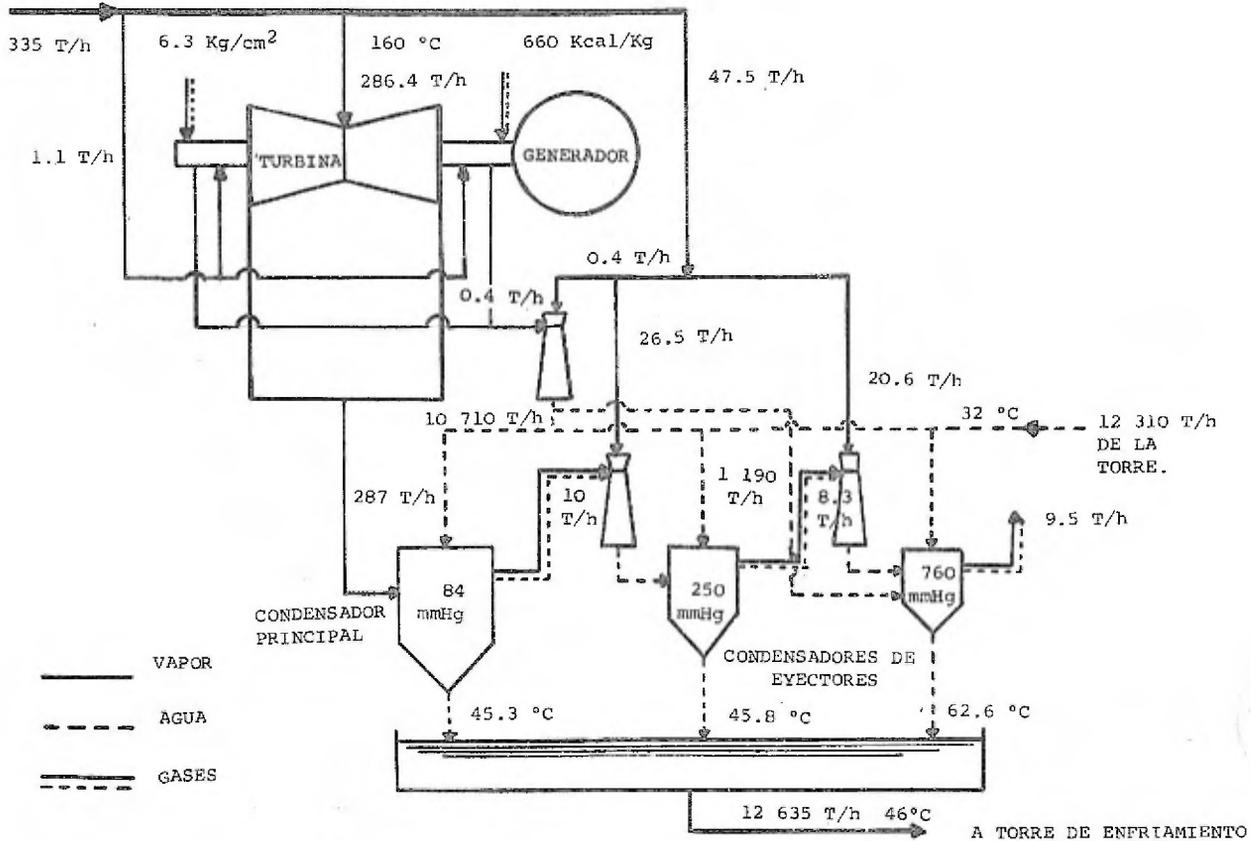
hay que hacer pruebas con diversos materiales sometidos a diferentes circunstancias, por ejemplo vapor, vapor condensado, vapor separado aereado, agua y aire del medio ambiente cercano a los pozos.

En nuestro país, la investigación en este campo se inició en la década de los cincuenta, con la instalación de una planta de 300 Kw en Pathé, Hgo., y ya se cuenta con la tecnología adecuada para su explotación racional, ya que está funcionando una planta generadora de 75,000 Kw en Cerro Prieto, B. C.

Afortunadamente, México cuenta con un potencial geotérmico muy grande, pues se han clasificado más de 100 focos termales, de los cuáles un elevado porcentaje, es económicamente aprovechable, estimándose que la capacidad energética, es del orden de 10 000 Mw, en los campos existentes en la faja volcánica y otra cantidad similar en el Sistema del Valle de Mexicali.

Como la producción de vapor es continua y aproximadamente constante durante un período grande, se asegura una generación de electricidad también constante y aunque una de las dudas que se tienen cuando se perfora un pozo es acerca de su duración, la cuál depende de las propiedades incrustantes del fluido entre otros factores, únicamente se puede asegurar el hecho comprobado que la vida de un campo es muchísimo más grande que la de un pozo en particular, ya que en algunos países ha sido necesario mantener un programa continuo de exploración de pozos cuya área geotérmica sea la

DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA UNIDAD DE 37.5 KW DE LA PLANTA  
 GEOTERMOCLECTRICA DE CERRO PRIETO, B.C.



misma., con el objeto de mantener la producción de vapor, sustituyendo los pozos cuya producción ha disminuido en más del 50 % por incrustaciones, en áreas en donde no es posible eliminarla.

La inversión total que se hizo en la Planta de Cerro Prieto, en perforación, costo del equipo y en instalaciones, es de \$ 179,000,000.00 y el gasto anual que se tiene es de \$ 18,000,000.00 para una capacidad de 75,000 Kw.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la anterior planta:

#### ENERGIA MAREOMOTRIZ:

Otra fuente de energía que hasta la fecha no se ha utilizado en nuestro país, es la que se encuentra en las mareas de los océanos, que son generadas por los movimientos gravitatorios de el Sol y la Luna.

El principio de su utilización, es similar al que se emplea en la industria hidroeléctrica, ya que durante la ascensión del nivel se llena un embalse de reflujo, lo cual crea un desnivel con la bajamar, que se aprovecha posteriormente en la generación de electricidad mediante el empleo de turbinas que estan acopladas a generadores eléctricos.

Aunque la energía de las mareas es discontinua, a diferencia de la proporcionada por el sol ó por el viento, tiene una periodicidad regular y aunque la hora y la altura de las mareas va---

rían diariamente, se puede predecir en forma aproximada, la energía aprovechable de éstas.

Las principales variables que intervienen en el proceso de generación de energía a partir de las mareas, son la altura de ésta y el caudal que circula a través de la turbina.

La altura de las mareas, es variable, pero puede considerarse con fluctuaciones muy pequeñas y están determinadas por las condiciones locales. En muy pocas partes del mundo, la altura de éstas excede a los 10 metros y por lo tanto deberán utilizarse -- turbinas de carga baja.

La siguiente figura, nos muestra el principio en que se basa el funcionamiento de una central mareomotriz:

La potencia de una turbina se calcula a partir de la relación:

$$N = H Q K \eta$$

N = Potencia de la turbina en Kw o CV

H = Diferencia de niveles en m

Q = flujo volumetrico en l/seg.

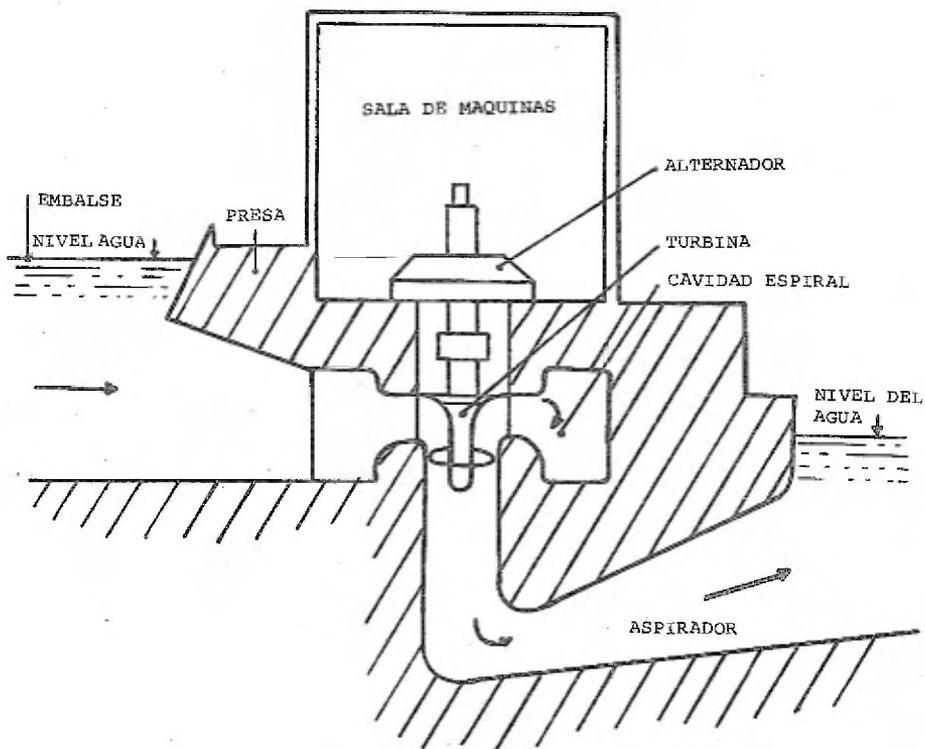
K = 1/102 para potencia en Kw o 1/75 para CV

$\eta$  = Eficiencia de la turbina

Es decir, que es una función de la amplitud de la marea, - por lo que si esta es baja, el flujo volumétrico debe ser considerable para obtener cantidades apreciables de energía.

Con el objeto de lograr caudales altos, es necesario constar con un embalse natural, pero si carece de él, aumenta conside

CENTRAL HIDROELECTRICA DE PEQUEÑO DESNIVEL



rablemente el costo de la instalación debido a que es preciso --- construir una presa artificial.

Las turbinas más adecuadas para este tipo de trabajo, son las reversibles, ya que generan electricidad cuando pasa agua del mar hacia el embalse y viceversa.

Un modelo de turbina-alternador bastante adecuado, es el conocido como "grupo bulbo", ya que es una especie de pequeño sub marino que se mueve en una canalización y en cuyo interior está montado un árbol horizontal, cuya prolongación en el exterior del casco, lleva el elemento activo de la máquina: un rodete Kaplan, - es decir, una hélice de paletas orientables.

Las principales desventajas de ésta fuente, consisten en su alto costo de generación, ya que la inversión en la instalación mareomotriz es elevada, principalmente si se requiere de la construcción de una presa; que la producción no es continua, sino intermitente; que es necesario proteger el equipo contra la corrosión, por lo que en la actualidad, no se considera dentro de las fuentes competitivas, aunque en un futuro, podría llegar a ser un excelente complemento de otras.

La amplitud de las mareas mexicanas, es muy variable, teniendo por lo general valores muy bajos, con excepción de algunas regiones del Golfo de California y del Río Colorado, en donde se han registrado amplitudes de 12.3 m.

Además, se disponen de pocos datos acerca de la topografía de nuestros literales y de amplitudes de las mareas, mismos que -

servirían para hacer los cálculos de la energía teórica que podría disponerse, pero por lo expuesto anteriormente, no es posible que compita favorablemente en la actualidad,

#### ENERGIA TERMICA DE LOS MARES:

Esta fuente de energía latente, puede aprovecharse debido a la existencia de enormes masas de agua que se encuentran a diferente temperatura. El agua superficial se mantiene a una temperatura mayor debido a la energía solar que recibe y a cierta profundidad, existen corrientes de agua fría y por ende de mayor densidad, provenientes de las regiones polares, principalmente.

Las característica primordial de la energía térmica marítima, es la gran cantidad de agua que se utiliza y la permanencia de los fenómenos que la reponen, de manera que constituyen una fuente regular y constante, de potencialidad aparentemente ilimitada, que continuamente se renueva.

Los estudios que se han hecho para utilizar ésta fuente, se efectuaron en Africa (Abidján), en donde se utilizó una máquina especial de vapor que funciona al vacío. Las zonas comprendidas entre los trópicos, son las ideales para la localización de las instalaciones mareotérmicas, ya que los gradientes de temperatura son de  $20^{\circ}\text{C}$  ó mayores a profundidades de 500 m.

La estabilidad del gradiente de temperatura, determina que la diferencia de densidad resultante, se oponga a la ascensión de

las aguas frías y por lo tanto la mezcla de ambas capas, sólo puede lograrse por difusión, proceso que es bastante lento.

El ciclo termodinámico utilizado por una central mareotérmica, consiste en evaporar en vacío las aguas superficiales (que se encuentran a temperaturas de 28 a 30°C) y dirigir el vapor producido a un condensador refrigerado por las aguas de las capas profundas que se encuentran a 7-8°C, pasando por una turbina acoplada a un generador eléctrico, es decir que una instalación típica, consta de los siguientes elementos:

1.- Evaporador, turbina y condensador.

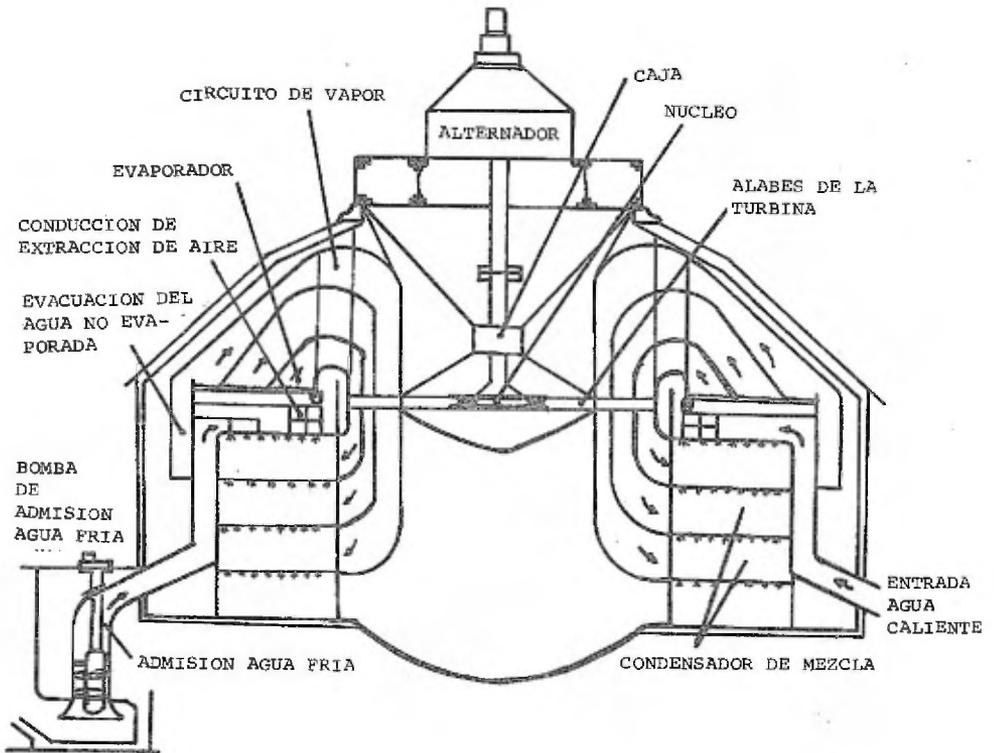
2.- Las canalizaciones de entrada y salida de las aguas caliente, fría y templada.

3.- Elementos auxiliares como el extractor de aire para -- mantener el vacío en el evaporador y el condensador, eliminando -- los gases disueltos, a medida que se van desprendiendo y las bombas de circulación del agua, como se muestra en la figura:

El principal inconveniente de esta máquina, es el gran volumen de agua que circula a través de ella y por lo tanto la gran cantidad de gases disueltos que en ella se desprenden, por ejemplo, en la máquina de Abidján, cuya potencia es de 15,000 Kw, se requiere un gasto de 43 m<sup>3</sup>/seg de agua caliente y de 13 m<sup>3</sup>/seg. de agua fría.

En estas condiciones, la potencia absorbida por las bombas es de 4,000 Kw y la del extractor es de 1,000 Kw, por lo que el --

CORTE DE UNA CENTRAL MARETERMICA CON CONDENSADOR DE MEZCLA.



rendimiento de todo el sistema disminuye considerablemente.

En la actualidad existen 2 tipos de Centrales Mareotérmicas: terrestres y flotantes.

Las primeras funcionan en tierra firme y el agua fría es elevada hasta la superficie por medio de tuberías en las que hay transferencia de calor, siendo necesario que se aislen las tuberías para reducir las pérdidas, cosa que implica una elevación en el costo de la instalación.

En las centrales flotantes, se pueden seleccionar diferentes posiciones para captar el agua fría, y por medio de cables submarinos, se envía a tierra, la corriente eléctrica generada.

Se ha comprobado que si la diferencia entre la temperatura de ambas corrientes es inferior a  $20^{\circ}\text{C}$ , el rendimiento disminuye notablemente, ya que la potencia generada, varía en función del cuadrado de la diferencia de temperaturas, siendo pues, las condiciones naturales como diferencia de temperatura, profundidad de las corrientes, etc., las que determinan la posibilidad de utilización de ésta fuente.

México se encuentra en la zona más favorable para emplear centrales de éste tipo, siendo la costa del Pacífico la más adecuada, ya que es bastante escarpada, pero desafortunadamente no son muy abundantes los datos de carácter térmico submarino con que se cuentan y por lo tanto no es posible hacer una estimación.

El costo de generación en éste tipo de instalaciones, es --

obviamente superior a otros, debido al equipo tan especializado -- que se requiere, pero una vez que se hagan mayores investigaciones en esta área, podrán abatirse sobre todo, si se considera que podrían obtenerse como subproductos: agua potable, proveniente de la condensación del vapor ó la utilización del agua en sistemas de -- calefacción.

#### ALMACENAMIENTO DE ENERGIA:

La disponibilidad intermitente que presentan algunas fuentes energéticas, tales como la solar y eólica, requieren que la -- energía producida se almacene para utilizarla posteriormente.

Una de las formas más sencillas, es aumentando la temperatura de algunas sustancias inertes (agua) ó utilizando reacciones químicas reversibles, como la deshidratación de sales. Este tipo de almacenamiento, requiere del análisis de factores tales como el volumen requerido, el costo del calor transferido hacia y desde la -- unidad de almacenamiento, así como la selección de aislantes térmicos, ya que se presentan pérdidas de calor en sus 3 formas:

- a) Por conducción en los materiales estructurales que están en contacto con la sustancia que almacena el calor.
- b) Por convección, en el aire principalmente.
- c) Por radiación en el infrarojo, por lo que es necesario -- utilizar un área pequeña para reducir las pérdidas.

Si se utilizan reacciones químicas, éstas deberán ser reversibles en un intervalo de temperaturas aceptables; las sustancias-

que presentan un comportamiento adecuado son: Sulfato de sodio --- decahidratado, carbonato de sodio decahidratado y cloruro de calcio hexahidratado.

El sulfato de sodio decahidratado, cumple además, con el requisito de tener baja velocidad de cristalización y de almacenar grandes cantidades de energía por unidad de masa y de volumen, ya que a una temperatura de 32.5°C sufre la siguiente reacción:



es decir, que a temperaturas superiores a ésta, se forma una solución concentrada de la sal anhidra, con absorción de calor y al disminuir la temperatura, la sal anhidra reacciona con agua y libera calor, siendo éste igual a 50 cal/g de sal hidratada. La velocidad de cristalización de la sal, es de 1.2 cm/hr, por lo que hay un límite en la velocidad con que se libera el calor. Comparando a ésta sal con otros sistemas almacenadores de energía, se pueden notar algunas ventajas:

Sustancia	Rango de Temp.	Cal/g	Kcal/m <sup>3</sup>
Agua	20 °C	20	1.99x10 <sup>4</sup>
Piedras con espacios de 0.67 cm--	20 '	-	0.77x10 <sup>4</sup>
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	32 '	57.7	8.54x10 <sup>4</sup>

Otra forma de almacenamiento de energía, es en forma de --- energía mecánica, por ejemplo, bombeando agua a una recipiente elevado para posteriormente hacerla descender a través de una turbina,

para aprovecharla en el momento en que se necesita.

Es factible también, almacenar la energía en baterías ó acumuladores, en donde no hay eficiencias tan bajas como las impuestas por el ciclo de Carnot, para el almacenamiento de energía en forma de calor, ya que no hay partes móviles y como su construcción es simple, su costo no es muy alto.

#### COSTOS DE ALMACENAMIENTO:

El costo de la energía almacenada, es considerablemente mayor que el de la energía producida directamente, debido a la baja eficiencia de los sistemas de almacenamiento y a la posterior pérdida de parte de la energía almacenada.

El costo total de un Kwh (T) de energía producida a partir de un sistema de almacenamiento, puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$T = P / e_s \cdot e_d + M / n + I / n + C / ny$$

en donde:

- P = Costo de 1 Kwh producido por alguna fuente
- $e_s$  = Eficiencia de la unidad de almacenamiento
- $e_d$  = Eficiencia del sistema de suministro
- M = Costo de mantenimiento y operación del sistema de almacenamiento por año.
- n. = Número de Kwh entregados por el almacenamiento / año

- I = Cargos de interés anual sobre el capital invertido
- C = Capital invertido en los sistemas de almacenamiento y suministro de energía.
- y = Número de años de vida de la unidad de almacenamiento

Como puede observarse, los costos aumentarán notablemente, para aquellos sistemas en donde las eficiencias sean bajas, como en el sistema térmico, mientras que se reducirán en aquellos de mayores eficacias, como en los sistemas de tipo eléctrico.

#### COMBUSTIBLES ESPECIALES:

Los combustibles especiales, son aquellas sustancias que -- normalmente no se utilizan en la industria y que son susceptibles de oxidarse por el aire ó por otras sustancias. La aplicación práctica es exclusiva en ciertos procesos en los cuáles es justificable su costo excesivo, por ejemplo en la propulsión de cohetes.

La mayoría de estos combustibles, son de base metálica, es decir, que en su molécula intervienen átomos de metales, generalmente de peso atómico bajo, por ejemplo: Li, Be, B, Na, Mg y Al.

La entálpia de combustión de los combustibles especiales, -- es bastante alta, en comparación con la gasolina, según lo muestra la tabla:

Combustible	Productos	H <sub>comb</sub> Kcal/Kg
Litio	Li <sub>2</sub> O	4 700
Berilo	BeO	5 800

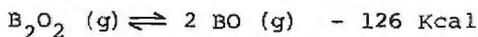
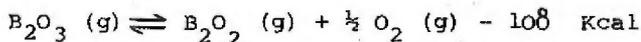
Boro	$B_2O_3$	4 300
Boro	$BF_3$	3 910
Magnesio	MgO	3 500
Aluminio	$Al_2O_3$	3 900
Gasolina	$CO_2, H_2O$	2 500

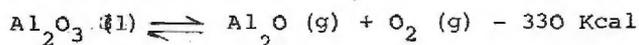
Otro tipo de combustibles de base metálica, son los hidruros, las amidas y los hidrocarburos combinados con átomos metálicos, por ejemplo:  $LiH, B_2H_6, B_5H_9, B_{10}H_{14}$  y  $MgH_2$ , mismos que dan rendimientos muy elevados ya que el bajo peso molecular requerido, lo proporciona el hidrógeno.

También podemos contar a los siguientes compuestos:  $LiNH_2, B(NH_2)_2, BNHCH_3, Be(CH_3)_2, B(CH_3)_3$  y otros, que pueden disolverse en los combustibles usuales.

Las principales objeciones a la utilización de combustibles especiales, son su alto costo y su riesgosa manipulación, así como su limitado suministro, además, de que algunos de ellos producen depósitos en los motores o máquinas que los utilizan, creando con ello dificultades operativas.

La principal causa de lo anterior, puede ser la alta temperatura que se obtiene al efectuarse la combustión, ya que los óxidos pueden vaporizarse y sufrir disociaciones:





Los combustibles para aeronaves, requieren de un peso mínimo, por lo que se utilizan los siguientes, que además de cumplir con el requisito anterior, ofrecen un calor de combustión por unidad de volumen mayor, que el correspondiente al de los combustibles fósiles.

OXIDANTE	COMBUSTIBLE
Oxígeno líquido	75 % de etanol / 25 % H <sub>2</sub> O
Oxígeno líquido	Hidrógeno líquido
80 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /20 % H <sub>2</sub> O	57 % Metanol / 30 Hidracina
HNO <sub>3</sub> fumante	Anilina
90 % HNO <sub>3</sub> / 10 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Eter vinilisobutílico

También existen algunos combustibles sólidos, por ejemplo, se pueden utilizar mezclas coloidales de nitrocelulosa y nitroglicerina, percloratos alcalinos como oxidantes y plásticos termoconductores (resinas fenol-formaldehido) como carburantes, reacciones que son bastantes exotérmicas.

## C A P I T U L O III

### ENERGIA NUCLEAR

La diferencia fundamental que existe entre las reacciones químicas ordinarias y las nucleares, es que en las primeras los átomos conservan su identidad y los cambios energéticos involucrados son pequeños, mientras que en las de tipo nuclear, el núcleo sufre transformaciones y hay grandes cambios de energía.

Los cambios energéticos de las reacciones extranucleares son de sólo algunos electron-volt, mientras que la correspondiente a las reacciones intranucleares es de algunos millones de electron-volt (Mev), pero en ambos casos es aplicable la ley de la conservación de Masa-Energía, que puede expresarse por medio de la siguiente ecuación:

$$(Masa + Energía) \text{ REACTIVOS} = (Masa + Energía) \text{ PRODUCTOS}$$

Los cambios en la estructura del núcleo pueden ser espontáneos ó inducidos; en el primer caso, el núcleo trata de adquirir estabilidad emitiendo partículas de cierta características ó simplemente energía.

Las radiaciones que emite una sustancia que sufre una transformación espontánea, son :  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\delta$ . Las primeras, son partículas de una masa de 4 uam y de una carga + 2, es decir, que son átomos de helio y al ser emitidas por un núcleo, se produce un nuevo núcleo cuyo número atómico es 2 unidades menor que el del núcleo -

original y su masa es 4 unidades menor.

Las partículas  $\beta$ , son electrones, es decir que cuando un núcleo libera éstas partículas, se forma otro con un número atómico superior en una unidad y la misma masa, mientras que la emisión de radiaciones  $\gamma$ , sólo cambia el contenido energético del núcleo y no su carga ni su masa y por lo tanto, no hay formación de un nuevo elemento.

Al emitir un núcleo alguna partícula, pueden suceder los casos:

- 1.- Que el núcleo formado sea estable
- 2.- Que el nuevo núcleo sea inestable y que emita a su vez, otro tipo de radiaciones hasta que llegue a ser estable.

La sucesión de varias desintegraciones, cada una de ellas-- caracterizada por tener un tiempo de vida diferente, se conoce como una SERIE DE DESINTEGRACION y una vez que se llega al producto estable, se obtiene el equilibrio radioactivo, que no es igual al equilibrio químico, ya que las reacciones nucleares se caracterizan por ser no reversibles.

Las reacciones inducidas son aquellas en las que un elemento que se conoce como "blanco", se somete a un bombardeo de partículas que reciben el nombre de 'proyectiles', lográndose con ello,-- alterar las características de los núcleos, produciéndose también, por éste procedimiento, los elementos artificiales.

Los proyectiles más empleados, son protones, deuterones y

partículas alfa, pero éstos deberán tener la energía suficiente para que logren vencer la barrera energética de repulsión que presenta su interacción con el núcleo y aunque en el caso de neutrones, como no tienen carga eléctrica, pueden ser absorbidos por un núcleo, aunque sus velocidades sean relativamente bajas.

Al incrustarse un proyectil en un núcleo, se forma un núcleo nuevo que es la combinación del núcleo original y la partícula con que se bombardeó y puede ser un núcleo con exceso de energía, que posteriormente puede disipar, liberando una o más partículas.

En algunos casos se utilizan como proyectiles las partículas provenientes de elementos naturales radioactivos, ya que son desprendidos a altas velocidades, por ejemplo, las partículas alfa salen disparadas a velocidades entre 1/10 y 1/100 del valor de la velocidad de la luz.

#### Estructura del núcleo:

La diferencia en el número de nucleones, (neutrones y protones), es lo que caracteriza a los diferentes elementos e isótopos, y tales partículas se agrupan en una región del espacio extraordinariamente pequeña en comparación con el tamaño del átomo, cuyo radio es función del número de partículas existentes según lo demuestra la siguiente relación:

$$R = R_0 \cdot A^{1/3}$$

R = Radio del núcleo en cm

$R_0 = 1.33 \times 10^{-13}$  cm.

A = Número másico del elemento

que dice que el volumen nuclear, es directamente proporcional a la raíz cúbica del número másico. La forma nuclear, se supone que es-

esférica ya que en ésta forma geométrica, las fuerzas eléctricas -- son equivalentes en todos los puntos y si no se cumpliera tal cosa, el núcleo ejercería fuerzas extras sobre los electrones periféri-- cos, misma que se ha logrado medir en pocos elementos, con los que se supone que el núcleo tiene una forma esférica deformada, aunque esta deformación no es muy significativa, ya que la relación de los -- semiejes mayor y menor es inferior a 1.2 generalmente.

#### ESTABILIDAD NUCLEAR:

Uno de los factores que intervienen en la determinación de -- la estabilidad nuclear de cualquiera de ellos, es el cociente del -- número de neutrones y protones, misma que para los elementos más -- ligeros que el calcio, toma valores de 1 a 1.2, pero aumenta al -- crecer el número atómico.

En función del valor que adquiera la anterior relación, se -- tendrá una desintegración para cada núcleo, por ejemplo, una forma -- de que el núcleo que contenga muchos neutrones adquiera estabili-- dad, es por conversión de uno de sus neutrones en un protón y un -- electrón, para posteriormente liberar a un electrón, según se mues -- tra en la reacción:



En un núcleo con una relación de (n/p) menor que la corres -- pondiente a la relación de estabilidad, uno de los protones puede -- transformarse en un neutrón y en un positrón, es decir, una partí -- cula con las mismas características que el electrón, pero con car -- ga opuesta, el cuál es liberado por el núcleo, obteniéndose un ele

mento con un número atómico menor en una unidad que el núcleo original.

En forma alternativa, un protón del núcleo puede capturar a un electrón situado en el primer nivel energético (nivel K), transformándose en un neutrón, por lo que el producto tendrá un protón menos y un neutrón más. Esta captura de electrones K, por un protón, va siempre acompañada por la emisión de radiación en forma de rayos X.

Otra medida de la estabilidad de un núcleo, es la diferencia que existe entre la masa medida y el número másico, es decir, la suma de las masas de los nucleones. Esta diferencia se expresa normalmente en unidades de energía, y se conoce como energía de 'unión' o de "amarre", y a valores mayores de ésta, el núcleo es más estable. Esta energía es la responsable de que partículas con la misma carga, permanezcan unidas, ya que de acuerdo a la Ley de Coulomb las fuerzas de repulsión para los protones en distancias tan pequeñas, serían muy grandes, pero al unirse éstas partículas, parte de la masa de los nucleones, se convierte en energía, la cual se encarga de mantener unidas a tales partículas.

Los valores de la energía anterior, se acostumbra expresarlos en terminos de energía de enlace por nucleón, que para la mayoría de los elementos, toma valores constantes, pero en el caso de núcleos de átomos muy pesados ó muy ligeros, los valores son menores y por lo tanto son inestables dichos átomos.

Lo anterior sugiere que es posible fusionar núcleos ligeros en uno más estable que cualquiera de sus componentes, cosa que se logra en los procesos de fusión ó en caso de que un núcleo pesado-

con una masa superior a 90, puede romperse en 2 núcleos con un número atómico comprendido entre 40 y 50, por medio de un proceso, - de fisión, lo cuál origina núcleos más estables.

Se ha encontrado que los núcleos más estables, son los que tienen números pares de neutrones y de protones, hecho que puede estar justificado en parte por el Principio de Exclusión de Pauli, - ya que para cada conjunto de números cuánticos, puede haber solamente  $2n$  y  $2p$  con espines opuestos en cada caso, por lo que puede decirse que constituye una especie de subnivel lleno conduciendo a una mayor estabilidad que en el caso de un subnivel incompleto, ó - sea cuando hay un número impar de nucleones.

Debido a la dificultad que se tiene para explicar cuantitativamente las fuerzas existentes entre los núcleos, se ha propuesto el modelo de la gota líquida en donde se supone que las energías de enlace y los volúmenes atómicos, son proporcionales al número de núcleos, los cuales interaccionan muy vigorosamente entre sí, como en un líquido, y cualquier exceso de energía proporcionada por un nucleón extra, será compartida rápidamente con los otros nucleones, alterando los estados cuánticos de todo el núcleo, en lugar del de un sólo nucleón.

El modelo de las capas nucleares, difiere del anterior, en que postula que hay números específicos de protones y neutrones, - que reciben el nombre de "números mágicos ó números de coraza", para los cuáles el núcleo exhibe una estabilidad excepcional, de manera similar que los átomos tienen capas de electrones muy esta---

bles.

T. H. Bartlett, fué quien sugirió la posibilidad de que los nucleones podían ocupar ciertos niveles al igual que los electrones y Schuler y Schmidt, la reforzaron a partir de estudios de los momentos magnéticos del núcleo.

Desde 1939, en que los alemanes Otto Hahn y Fritz Strassmann descubrieron al fenómeno de la fisión nuclear, numerosos investigadores se han dedicado a estudiar las aplicaciones de éste tipo de reacciones para fines pacíficos y no exclusivamente para propósitos militares, siendo el más importante el aprovechamiento de ésta enorme cantidad de energía concentrada dentro del núcleo en la generación de electricidad ó en la desalinización del agua de mar.

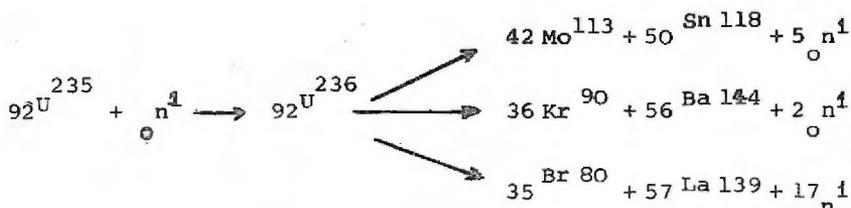
A continuación, se mencionan los procesos que puede seguir un núcleo para estabilizarse y que pueden ser factibles como fuentes energéticas:

#### REACCIONES DE FISIÓN:

Consiste en la interacción entre un neutrón y un núcleo fisionable que se fragmenta en átomos más pequeños, liberando el exceso de energía y produciendo al mismo tiempo, nuevos neutrones que bajo condiciones adecuadas, sostienen e incrementan la reacción en cadena.

El Uranio 235, es un núcleo que fácilmente interacciona con un neutrón lento, para formar un átomo de uranio 236 que es bastante

te inestable y se fisiona en núcleos más ligeros y varios neutrones, por ejemplo:



Los neutrones formados en la primera desintegración, chocan con otro átomo de uranio, por lo que puede continuar la reacción en cadena, aunque ésta puede detenerse por 2 causas:

a) Las impurezas ó los materiales de construcción, pueden absorber a los neutrones desprendidos y parar la reacción.

b) Los neutrones pueden escapar a través de la superficie, antes de que provoquen un fisión posterior.

Para controlar una reacción en cadena, es necesario que se efectúe en un REACTOR NUCLEAR, y para calcular la energía desprendida por una reacción, se utiliza la ecuación de Einstein:

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

$\Delta m$  = diferencia de las masas de productos y reactivos

$c$  = valor de la velocidad de la luz.

Estas cantidades, comparadas con las energías involucradas en las reacciones ordinarias, resultan ser muy grandes, ya que un cambio en una sola unidad atómica de masa, equivale a 931 Mev, -- como lo ilustra el ejemplo:

El peso isotópico del uranio 235, es de 235.118 y la masa -- de un neutrónes igual a 1.009 uam, lo cuál hace un total de 236.127 uam, para la masa de las partículas reaccionantes. Si suponemos que los productos de fisión del isótopo considerado son el Mo<sup>95</sup> y el -- La<sup>139</sup>, sus masas son 94.936 y 138.950 respectivamente, más 2 x 1.009 para la masa de los neutrones, dan un total de 235.904 y por lo tan to, la masa convertida en energía es igual a:  $236.127 - 235.904 = 0.233$  uam. que tiene un valor equivalente de:  $0.233 \text{ uam} \times 931 \text{ Mev/uam} = 208 \text{ Mev}$ .

Debido a que existen alrededor de 50 diferentes formas de fi sión para el U<sup>235</sup> y cada una de ellas tiene un valor diferente de - energía, se puede considerar como valor promedio el de 200 Mev. Es- ta energía liberada en la fisión, aparece en diferentes formas, una de ellas es como energía cinética de los productos de fisión, otra- es como energía radioactiva de dichos productos, por lo que a conti nuación, se muestra una distribución aproximada de la energía libe- rada:

	Mev
Energía cinética de los productos	168
de los neutrones de fisión	5
instantánea en forma de rayos $\gamma$	5
radioactiva de los productos	7
Radiaciones de los productos de fisión $\beta$	6
Neutrinos desprendidos de los productos	10
TOTAL	201

Los neutrones, las partículas alfa y las radiaciones gama, son absorbidos casi inmediatamente y por lo tanto la energía que transportan aparece finalmente como calor y como los neutrinos no son fácilmente absorbidos, su energía se disipa más lentamente en grandes áreas.

#### Distribución de masa de los productos de fisión:

Los resultados que se han obtenido acerca de los productos de fisión, del uranio 235 por medio de neutrones lentos, se presentan en la gráfica No. 5, en donde el número másico del producto, se graficó contra el % de rendimiento.

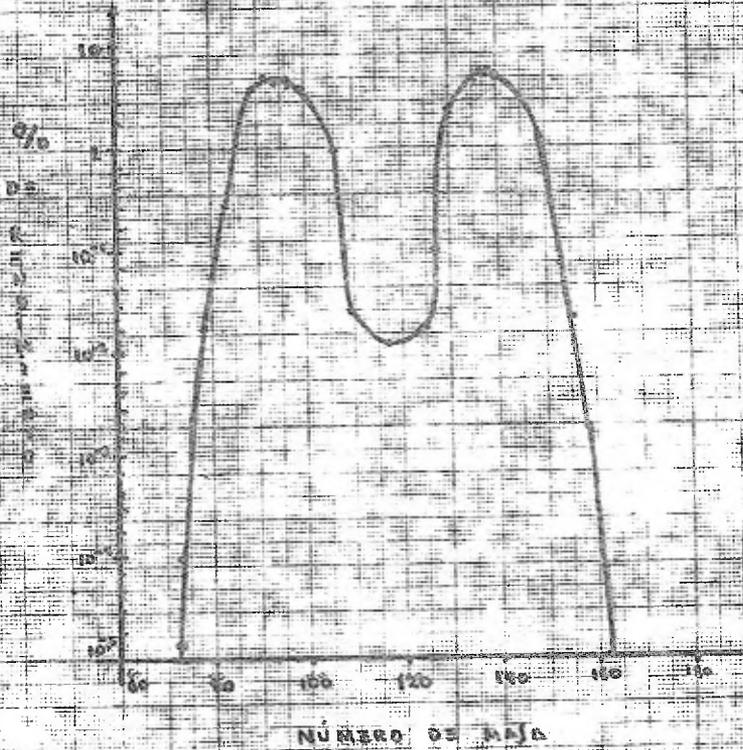
No se hace la gráfica con el número atómico, debido a que la mayoría de los productos de fisión son radioactivos, desintegrados por emisiones beta, por lo que los números atómicos varían con el tiempo, mientras que el número másico, permanece constante.

Un examen de esta gráfica, nos muestra que alrededor del -- 97 % de los núcleos que sufren la fisión, dan productos que caen dentro de 2 grupos:

1.- Un grupo de elementos 'ligeros', con número de masa de 85 a 104 y un

2.- Grupo de elementos cuyo número másico está comprendido entre 130 a 149, por lo que se le conoce como grupo 'pesado'; también se observa que el tipo más probable de fisión, representa cerca del 6.4 % del total, dando como productos núcleos cuyo número másico es de 95 y 139.

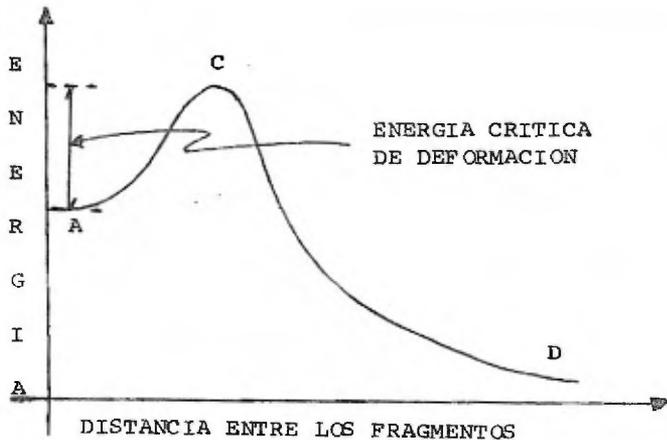
GRÁFICA Nº 5



La curva anterior, es válida para cuando se liberan 2 neutrones y es una curva simétrica. Para otros isótopos del uranio, la curva será similar, con la diferencia que los ejes estarán desplazados, ya que los rendimientos de los distintos productos, serán diferentes.

Otro punto de vista acerca de las condiciones de la fisión nuclear, es el que utiliza el diagrama de energía potencial, en el que la energía de los productos de fisión, se grafica en función de su distancia de separación.

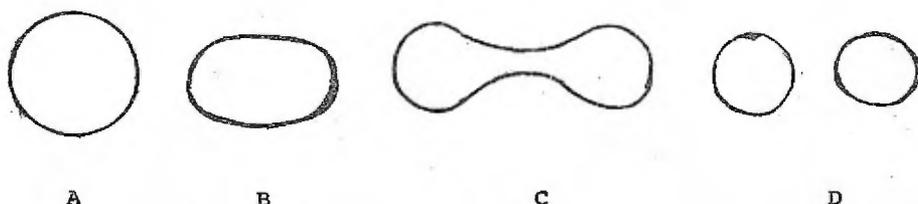
La forma exacta de la curva, depende de la naturaleza del núcleo que se emplea como blanco, pero la forma general que presenta, es:



En el extremo izquierdo del diagrama, se supone que los fragmentos de fisión están juntos en el punto A, que representa la energía del blanco y del neutrón incidente y en el extremo derecho,

los fragmentos de la fisión que se consideran a regular distancia, de tal forma que en el punto D, su interacción es muy pequeña.

Entre el punto A y el D, existe una barrera hipotética, cuyo máximo C, corresponde al estado de deformación crítico del núcleo, según se propone en la teoría de la gota de líquido:



La curva de C a D, representa la repulsión electrostática de los núcleos producidos, la cuál disminuye conforme aumenta la distancia de separación.

La energía crítica de deformación es equivalente a la energía de activación de una reacción química ordinaria y depende de la relación de  $Z^2/A$ .

El conocimiento de las propiedades físicas y la naturaleza química de los productos, es importante, en relación con la utilización de la energía nuclear como una fuente de energía.

#### EL REACTOR NUCLEAR:

Con el objeto de controlar adecuadamente la velocidad con que los núcleos de algún material fisionable se fragmentan, es ne-

cesario emplear un dispositivo especial que se conoce con el nombre de Reactor Nuclear, y que está constituido por las siguientes partes:

a) MODERADOR: colocado con el objeto de frenar a los neutrones provenientes de la fisión, hasta energías del orden térmico, - pero sin capturar un gran número de ellos, por lo que es necesario que estén formados por elementos ligeros cuya sección eficaz de -- captura de neutrones sea baja, por ejemplo: agua, agua pesada, gra<sup>fito</sup> purificado y óxido de berilio.

b) REFRIGERANTE: Utilizado para extraer el calor liberado - en la reacción y mediante el uso de cambiadores de calor, transportarlo a los equipos generadores de energía, contandose entre los - principales: agua, agua pesada, aire comprimido, anhídrido carbóni<sup>co</sup>, helio y sodio líquido.

c) NUCLEO, Ó CORAZON: que es un arreglo típico en forma ma<sup>tricial</sup> de el combustible, mismo que puede encontrarse en forma de barras o placas del material fisiónable recubiertas por un mate<sup>---</sup> rial reflector (zirconio, acero inoxidable o aluminio) con el obje<sup>to</sup> de retener en parte las emisiones radioactivas, prevenir la co<sup>rr</sup>osión ó de servir simplemente como soporte estructural.

d) BARRAS DE CONTROL: Son empleadas para mantener en valo<sup>res</sup> aceptables la reacción en cadena, variando el número de neutro<sup>nes</sup> disponibles, por lo que es necesario que se construyan de mate<sup>riales</sup> altamente absorbedores de neutrones como boro ó cadmio.

e) UN BLINDAJE: Colocado fuera del recipiente a presión donde se lleva a cabo la reacción y que sirve como coraza para prevenir al personal de operación, de lesiones causadas por las radiaciones producidas en el núcleo, pudiendo ser placas de gran espesor de plomo, acero ó de concreto.

f) COMBUSTIBLE: Que es un material fisiónable y que es el responsable de la liberación de la energía al transformarse en otros átomos; en la actualidad, son 3 los combustibles utilizados:

$^{235}\text{U}$  ,  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{233}\text{U}$  .

#### CLASIFICACION DE REACTORES

La clasificación de los reactores nucleares, se hace en base a diferentes características, siendo las más comunes:

1.- De acuerdo a la velocidad de los neutrones utilizados como proyectiles:

a) Reactores térmicos: en donde los neutrones han sido frenados hasta velocidades tales que alcanzan el equilibrio térmico con los materiales del reactor, es decir del orden de unos 3000 m/seg.

b) Reactores intermedios: que utilizan neutrones epitérmicos, es decir aquellos que no han sido frenados hasta energías del orden térmico.

c) Reactores Rápidos: Caracterizados por utilizar neutrones que tienen velocidades del orden de  $15 \times 10^6$  m/seg., es decir del mismo orden que la de los neutrones desprendidos en la fisión.

2.- En función del tipo de combustible que consumen.

3.- Según la naturaleza del fluido utilizado para la extracción del calor:

- a) Reactores enfriados por gases.
- b) Reactores enfriados por agua
 

{	ligera
	pesada
- c) Reactores enfriados por metales líquidos.

4.- Tomando en cuenta su finalidad:

- a) Reactores de investigación.
- b) Reactores productores de isótopos.
- c) Reactores de cultivo
- d) Reactores de potencia.

Los reactores utilizados en la actualidad para la producción de energía, utilizan como combustible el uranio 235, que se encuentra en pequeñas cantidades en el uranio natural (0.71%), por que es necesario someter a este último, a un proceso de ENRIQUECIMIENTO para aprovechar más eficientemente el contenido energético de este isótopo, ya que al haber mayor cantidad de  $U^{235}$  en los diseños, se puede reprocesar y por lo tanto, se logra disminuir notablemente la cantidad de uranio natural alimentado.

En los siguientes diagramas, se muestran diferentes formas de alimentación del uranio, para obtener una misma cantidad de energía:

Uranio Natural  
 0.71 %  $^{235}\text{U}$   
 230 Kg/día

Preparación del  
 combustible

R E A C T O R

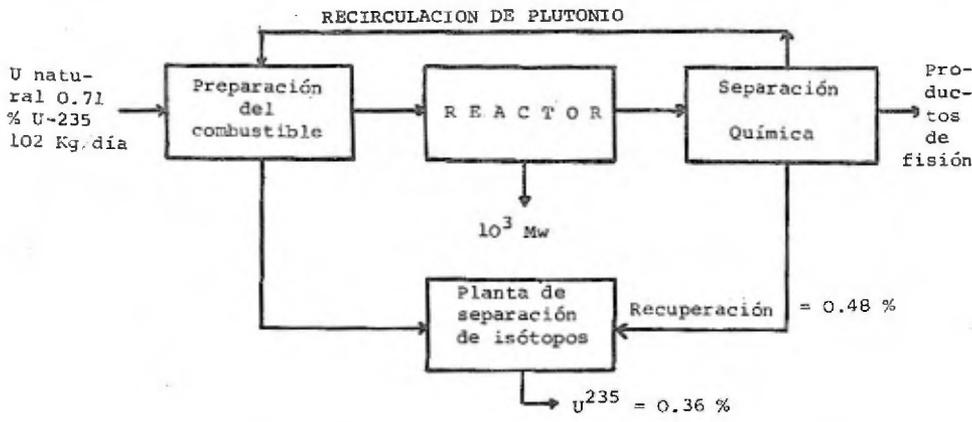
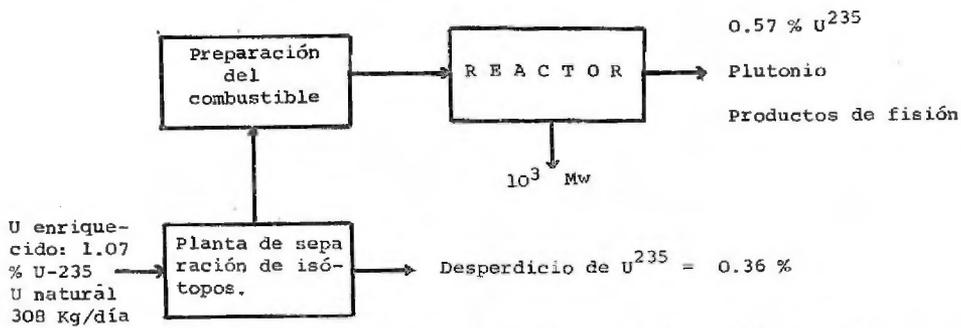
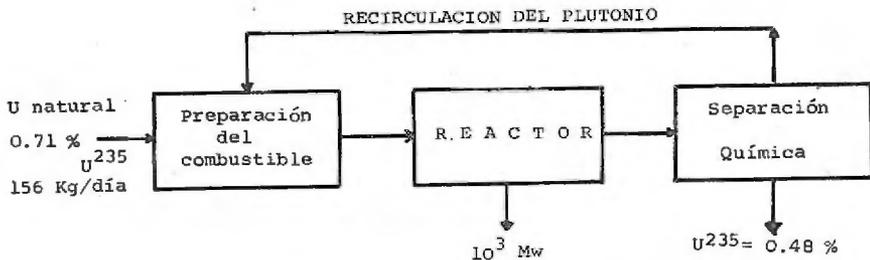
$^{235}\text{U}$  desperdicios = 0.4 %  $^{235}\text{U}$   
 Plutonio y  
 productos de fisión

$10^3$  Mw

#### FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR:

Una vez iniciada la reacción entre el núcleo fisionable y el neutrón, los neutrones desprendidos por la fisión del núcleo, pueden a su vez interaccionar con otros núcleos para producir mayor número de neutrones, que nuevamente, pueden volver a reaccionar, pueden ser absorbidos ó se pierden por simple fuga.

Cuando se halla presente justamente la cantidad de material fisionable suficiente para iniciar una reacción en cadena, se dice que el sistema es crítico, y a ésta cantidad de combustible, se le conoce como Masa Crítica. En éstas condiciones, la producción de neutrones por la fisión, está equilibrada con la pérdida de neutrones por escape, captura u otros procesos que los absorban.



La pérdida de neutrones, es proporcional a la superficie -- del reactor, mientras que la producción de éstos es función de su volúmen ó sea que cuanto mayor sea el tamaño del reactor, tanto me-- nor será el número relativo de neutrones que escapan. Debido a que el tamaño de un reactor depende fundamentalmente de numerosas va-- riables, y que el cuerpo geométrico que tiene la menor relación -- de superficie a volúmen es la esfera, el reactor de ésta forma, se rá el que requiere de la menor masa crítica, misma que puede redu-- cirse cuando se rodea el reactor con un reflector para reducir las pérdidas de neutrones, haciéndoles sufrir una dispersión que los re-- grese al reactor, o mezclando el combustible con un moderador con-- el objeto de reducir la velocidad de los neutrones y con ello, au-- mentar la sección eficaz de captura.

La masa crítica aumentará con la presencia de cualquier ma-- terial extraño en el reactor que absorba neutrones, tales como los soportes estructurales, el refrigerante y los instrumentos de con-- trol.

Las propiedades que determinan el valor de un material dado como moderador son: la sección transversal de dispersión, la sec-- ción eficaz de captura y la disminución media de la energía del -- neutrón por colisión.

Establecimiento y desarrollo de la reacción:

Para que se pueda efectuar la reacción en cadena, cada nú-- cleo que sufre una fisión, deberá producir por lo menos un neutrón,

para que éste, a su vez, provoque la fisión de otro núcleo; y la razón del número de neutrones en una generación al número de ellos existentes en la generación anterior, se le llama factor de multiplicación 'K', cuyos valores indican el tipo de reacción:

a) Si  $K < 1.0$ , la reacción no se efectúa.

b) Si  $k = 1.0$ , la reacción prosigue con un flujo de neutrones constante

c) Si  $k > 1.0$ , el flujo de neutrones aumenta continuamente conforme transcurre el tiempo, como en el caso de la bomba atómica.

Por razones prácticas, todos los reactores deben funcionar con un valor de  $k$  mayor que la unidad, ya que con esto se evitan problemas relacionados con el envenenamiento gradual del combustible por los productos de fisión que se depositan en él y con objeto de compensar en parte el combustible que se quema durante el funcionamiento.

Si se construyera un conjunto supercrítico de material fisionable, empezaría una reacción en cadena a causa de la presencia de neutrones provenientes de las radiaciones cósmicas ó de la fisión espontánea de algunos núcleos y el flujo aumentaría con un régimen determinado, hasta que el sistema se deforme como consecuencia de las altas temperaturas y el sistema modifica su geometría transformándose en subcríticos, deteniéndose la reacción, por lo cual, no existe peligro de una explosión, pero la intensa radiación gama y de neutrones, si representaría un serio peligro, lo cual se evita con el uso de moderadores, de los cuales el boro ofrece una

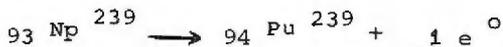
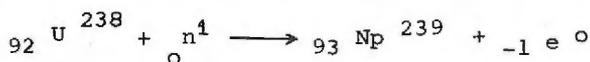
ventaja de menor importancia sobre el cadmio, por el hecho de que al capturar neutrones térmicos, produce una partícula alfa, que se frena fácilmente mientras que el cadmio produce radiaciones gama.

#### REACTORES DE CULTIVO:

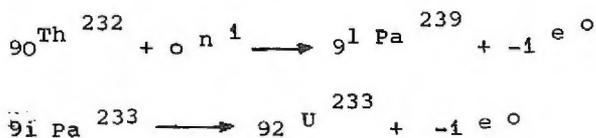
Como se mencionó anteriormente, los reactores actuales consumen uranio natural ó uranio enriquecido y producen grandes cantidades de materiales radioactivos como desperdicios, los cuales --- constituyen un serio problema para la seguridad del medio ambiente si no se disponen en forma adecuada, ya que la mayoría de ellos -- tiene tiempos de vida media muy grandes.

Las existencias de uranio natural, son limitadas y por lo tanto el material fisionable que existe en él, tiende a agotarse, por lo que es conveniente que los desperdicios de los reactores actuales sean utilizados en la producción de combustibles nucleares.

Para lograr lo anterior, es necesario efectuar las reacciones en reactores de cultivo, en donde los materiales fértiles capturan neutrones y forman núcleos fisionables que sirven como combustibles, siendo los más usados, el uranio 233 y el plutonio 239, obtenidos a partir de los núcleos fértiles de uranio 238 y de torio 232, según lo muestran las reacciones:



y :



La importancia de los reactores de cultivo, radica en que ofrecen la posibilidad de aumentar la cantidad de material fisiónable por conversión del material fértil y la obtención de grandes cantidades de energía.

Los reactores de la actualidad, producen plutonio como subproducto, por lo que hay una estrecha interdependencia entre los reactores actuales y los de cultivo, cuyo uso deberá generalizarse en el futuro, ya que ayudarán a conservar los recursos energéticos en el mundo y contribuirán al abaratamiento del uranio en un tiempo considerablemente corto.

El reactor de cultivo rápido, transforma el material fértil a fisiónable con una velocidad mayor que la de consumo del material fisiónable creado, que es variable según el tipo de reactor, por ejemplo, en los que utilizan uranio y son enfriados con agua ligera, producen 14 átomos de plutonio por cada 10 átomos consumidos, por lo que se dice que trabajan con factor de 1.4

Tiempo de duplicación:

Es el tiempo que tarda un reactor de cultivo para producir una cantidad de combustible suficiente para satisfacer sus necesidades y las de un reactor igual al anterior, mismo que es variable, dependiendo de la forma en que se disponga del plutonio creado, -- siendo los casos más frecuentes:

a) Tiempo de duplicación simple: que es cuando el plutonio creado se retira del reactor y se almacena por separado, que según estimaciones es de 16 años.

b) El tiempo de duplicación compuesto, que se determina cuando el plutonio creado se pone de inmediato a trabajar, siendo lógicamente, menor que el anterior, calculándose un tiempo de 12 años, basados en los datos de los reactores usados en la actualidad, pero se espera que se reduzca a sólo 7-10 años, al desarrollarse la tecnología.

Existen ciertas discrepancias entre el tiempo de duplicación y el costo del combustible, pudiéndose decir que un tiempo de duplicación bajo, no necesariamente implica un costo bajo de los combustibles.

Los reactores de cultivo, conservarán los recursos energéticos ya que los reactores comerciales actuales, utilizan solamente el 1 o 2 % de la energía disponible en el uranio y se estima que empleándose esos reactores, se aprovechará un 60 % como mínimo, hecho que conduce a la disminución considerable de el consumo del uranio natural.

Otra ventaja que presenta el reactor de cultivo, es su gran eficiencia térmica del orden de 39 %, mejor que cualquiera de las mejores de las plantas que utilizan combustibles fósiles ó de los reactores nucleares actuales.

Un reactor de cultivo, necesita disipar alrededor de - - -

1,210 Kcal/Kwh generado, comparado con 1,663 Kcal/Kwh de un reactor convencional, presentado las mismas ventajas que éstos últimos respecto a que no agregan productos de combustión a la atmósfera y que las pequeñas cantidades de los productos de fisión, se controlan como en los reactores convencionales.

Los principios del funcionamiento del reactor de cultivo, se han conocido desde 1951, con el diseño y construcción en E.E.U.U., del primer reactor experimental de cultivo (EBR-1), y se ha experimentado con diferentes materiales para la extracción del calor, llegándose a la conclusión de que el mejor refrigerante es el sodio líquido, ya que tiene un bajo punto de fusión y alto punto de ebullición y puede combinar presiones relativamente bajas (6.8 atm) con altas temperaturas de trabajo (535°C) dadas sus excelentes propiedades termodinámicas. Sin embargo, debido a que el sodio se hace más radioactivo que el agua cuando se expone al intenso flujo de neutrones, el desarrollo de la tecnología debe estar encaminado hacia el empleo adecuado del sodio como refrigerante, para lograr una completa seguridad del personal de la planta.

Los problemas crecientes de contaminación ambiental y de la dificultad en los suministros de energía, son los que refuerzan la idea de hacer comercial éste tipo de reactores, ya que cualquier país tiene la doble necesidad de producir grandes cantidades de energía en forma económica y al mismo tiempo, minimizar los contaminantes ambientales producidos en la generación de ésta.

## POTENCIA DE UN REACTOR:

Para conocer la potencia que puede desarrollar un reactor nuclear, es necesario calcular la energía liberada en términos de unidades ingenieriles más comunes: es sabido que 1 Mev, equivale a  $1.6 \times 10^{-6}$  erg, así que los 200 Mev liberados por una simple fisión ó  $3.2 \times 10^{-4}$  erg., son equivalentes a  $3.2 \times 10^{-11}$  watt-seg., es decir, que se requieren:  $1/3.2 \times 10^{-11} = 3.1 \times 10^{10}$  fisiones para liberar 1 watt-seg de energía, es decir que las fisiones con una velocidad de  $3.1 \times 10^{10}$  / seg, producen un watt de potencia.

Si se multiplica la energía liberada por fisión por el Número de Avogadro, el resultado:  $6.023 \times 10^{23} \times 3.2 \times 10^{-4} = 1.93 \times 10^{20}$  erg =  $1.93 \times 10^{13}$  watts-seg., es la energía liberada por un átomo-gramo de  $U^{235}$ ,  $U^{233}$  ó  $Pu^{239}$

Despreciando la pequeña diferencia de masa entre las tres especies fisionables, puede concluirse que la fisión de un gramo, libera:

$1.93 \times 10^{20}$  erg/ 235 g =  $8.2 \times 10^{10}$  watt-seg, mismos que equivalen a:  $8.2 \times 10^7$  Kw-seg x 1 h / 3 600 seg =  $2.3 \times 10^4$  Kw-h =  $0.96 \times 10^4$  Kw-día, ó sea que la generación de energía correspondiente a la fisión de un gramo de uranio por día, será  $0.96 \times 10^3$  Kw ó sea casi 1 Mw ( $10^6$  w) y con el objeto de obtener la misma cantidad de energía (calor) por combustión, se necesitarían alrededor de 3 toneladas de carbón ó 2,640 litros de combustóleo, lo cuál, muestra la magnitud de la energía nuclear, en comparación con la energía química.

micas ordinarias.

La potencia de un reactor, será una función del número de núcleos que se desintegran, así como de sus dimensiones, pudiéndose utilizar la relación:

$$P = nvN V\sigma / 3.1 \times 10^{10} \text{ watts}$$

P = Potencia del reactor en watts

n = Densidad promedio de neutrones (número / cm<sup>3</sup>)

v = Velocidad promedio de los neutrones (cm/ seg)

nv = Densidad de flujo de neutrones (No. neutrones / cm<sup>2</sup> seg)

N = Número de núcleos de U<sup>235</sup> / cm<sup>3</sup>

$\sigma$  = Sección transversal para fisión, cm<sup>2</sup>/núcleo

V = Volumen del reactor, cm<sup>3</sup>

#### COSTO DE UN REACTOR NUCLEAR:

El costo de un reactor nuclear y por lo tanto el de la energía generada por él, es función de numerosas variables, por lo que se puede utilizar la siguiente relación:

$$C = C_a + C_o + C_f - C_c$$

C = Costo total

C<sub>a</sub> = Gastos financieros

C<sub>o</sub> = Gastos de explotación

C<sub>f</sub> = Gastos de combustible.

C<sub>c</sub> = Compensación por el combustible creado

Los cargos financieros, están dados por la siguiente relación:

$$C_a = 1,000 D A / 8,760 P$$

D = Inversión en la instalación de la central nuclear en --  
\$/Kw (e) instalado.

A = Cargos financieros de las inversiones, expresados en --  
renta anual (%/año).

P = Factor real de utilización (relación entre la energía -  
producida por la central y la calculada teóricamente).

8,760= Transformación de horas por año.

Los gastos referentes al combustible, son:

$$C_f = 1,000 M F I / 8,760 G E P + 1,000 R / H U E$$

M = Cantidad total de combustibles que se carga por primera  
vez en el reactor expresada en kg.

F = Interés de los gastos del combustible, % / año

G = Potencia térmica instalada, expresada en Kw térmicos

E = Eficiencia de la transformación del calor en electrici-  
dad, expresada en %

Q = Cantidad de combustible nuclear consumido

R = Precio de reutilización del combustible

H = Expresa el poder calorífico del combustible en Kwh/kg -  
de combustible consumido, siendo un valor aproximado pa-  
ra el uranio 235, el de  $24 \times 10^6$  Kwh/Kg.

U = Factor de utilización del combustible expresado en kg - consumidos / kilogramos tratados.

Los costos debidos a explotación, se calculan según la relación:

$$C_o = 1,000 B F / H E$$

B = Factor de multiplicación expresado en Kg. de materias fisionables producidas por kilogramos de materiales fisionables -- consumidos.

#### REACCIONES DE FUSION:

Los investigadores nucleares del año de 1939, tenían la convicción de que era más fácil obtener energía por medio de la combinación (fusión) de núcleos ligeros, que a partir de la fisión de un núcleo pesado, cosa que en la actualidad se ha comprobado no sucede, ya que si analizamos la gráfica en donde aparecen las energías de enlace por nucleón contra el número másico, se ve que la energía de enlace por nucleón en un núcleo ligero, es menor que para los núcleos de masa intermedia, es decir, que la suma de las masas individuales de los núcleos ligeros, es mayor que la del núcleo formado por su fusión, por lo que el resultado de esa unión, es la liberación de energía.

La prueba más evidente de este tipo de reacciones, es la producción de grandes cantidades de energía en las estrellas, a partir de las fusiones de núcleos a temperaturas de varios millones de grados, por lo cuál reciben el nombre de reacciones termo-

nucleares.

El mecanismo es diferente al de las reacciones de fisión, - ya que con el objeto de que 2 núcleos interaccionen, deberán tener una energía cinética tal, que les permita vencer la barrera de repulsión electrostática que tiende a mantenerlos separados y que según calculos hechos para isótopos del hidrógeno, la energía requerida para que las reacciones se efectúen con una velocidad detectable, es de 0.1 Mev. valor que se ha comprobado cuando se utilizan aceleradores.

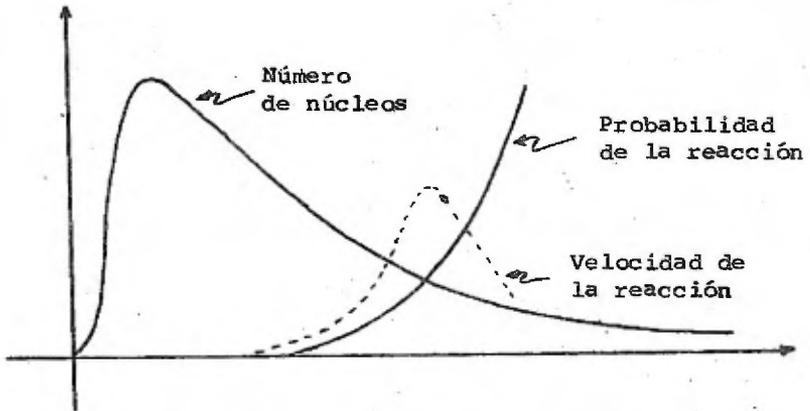
Aunque a temperaturas de millones de grados, un gas no está constituido por moléculas, sino que se trata de un estado completamente ionizado de núcleos y electrones, que recibe el nombre de -- PLASMA, se sigue aplicando el concepto de distribución de energía-- por lo que se puede establecer que mientras mayor sea el número de núcleos que tengan valores de energía cercanos al valor promedio -- para la temperatura de excitación, habrá siempre una proporción de ellos con energías excedentes del valor promedio, por ejemplo a -- temperaturas de 20 millones de grados, donde la energía cinética -- promedio es de 0.002 Mev. hay un número considerable de núcleos -- con energías de 0.1 Mev ó mayores.

La suposición anterior, considera que la reacción no ocurre abajo de cierto valor de energía, lo cuál no es completamente cierto, ya que existe una probabilidad para que la reacción se efectúe a cualquier temperatura y por lo tanto, a cualquier valor de energía, aunque en el caso de los isótopos del hidrógeno, ésta aumenta

marcadamente conforme se aproxima a 0.1 Mev.

La velocidad con que se efectúa una reacción termonuclear, depende del producto del número de núcleos que tenga una cierta -- cantidad de energía y la probabilidad de la reacción para esa energía.

La naturaleza general de la variación de estas cantidades a una temperatura dada, se muestra en la siguiente figura:



donde se puede observar que muchas de las reacciones, se deben a -- núcleos con energías en exceso del promedio.

En 1938, H.A. Bethe, sugirió 2 conjuntos de reacciones nucleares, que se ha encontrado, explican satisfactoriamente la energía desprendida en lo que se conoce como "secuencia principal en -- las estrellas".

El primero es conocido como ' ciclo del carbono', en el --- cuál, el átomo de carbono, actúa como catalizador al facilitar la -- combinación de 4 protones que se transforman en un núcleo de helio.

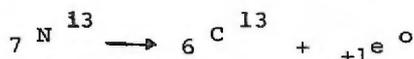
El segundo, recibe el nombre de 'cadena protón-protón', debido a -- que el primer paso incluye la combinación de 2 protones.

Ciclo del carbono:

En este proceso, un protón interacciona con un núcleo de --  $C^{12}$ , liberando energía:



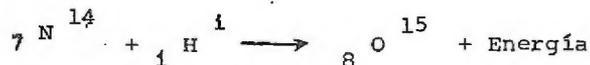
pero como el nitrógeno 13 es radioactivo, emite un positrón en un tiempo de 10.1 minutos, formando el carbono 13:



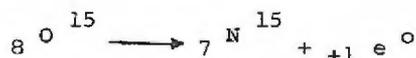
el cuál, es estable, pero que al reaccionar con otro protón, libera energía:



pero éste núcleo puede reaccionar con un tercer protón, para formar el oxígeno 15



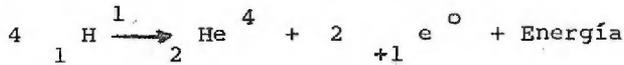
que es emisor de partículas beta positivas, en un tiempo de 2.05 - minutos:



y finalmente, un protón interacciona con el nitrógeno 15, con lo -- que se regenera el carbono doce, que intervino en la primera reacción:

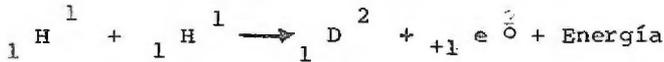


siendo la reacción neta:



CADENA PROTON-PROTON:

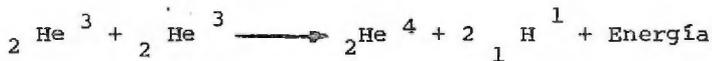
En éste mecanismo, se propone que primero se unen 2 protones para producir deuterio y un positrón:



luego, un deutrón se combina con otro protón, para formar Helio-3:



y finalmente, dos núcleos de  $\text{He}^3$ , interaccionan de acuerdo a la --- reacción:



Para obtener los 2 núcleos, de helio, cada una de las primeras reacciones deberá efectuarse 2 veces y sumando las reacciones anteriores, el resultado es la formación de un núcleo de helio y dos positrones, a partir de 4 protones.

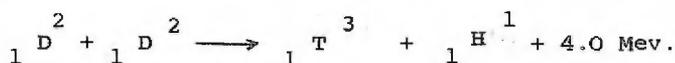
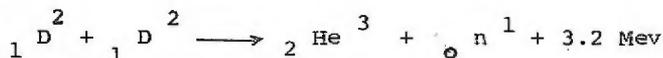
La energía liberada en ambos casos, es igual a 26.7 Mev. -- por cada átomo de helio producido.

La probabilidad relativa de que se efectúe una u otra reacción, depende principalmente de la temperatura, por ejemplo, a ba-

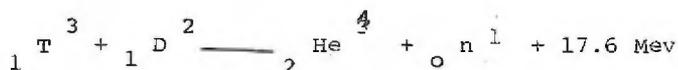
En las temperaturas predominan el mecanismo de la cadena protón-protón pero conforme se eleva la temperatura, el ciclo del carbono, empieza a hacerse significativo, aunque a temperaturas de  $20 \times 10^6$  °C, ambos mecanismos se efectúan con la misma velocidad.

Otras reacciones termonucleares:

La posibilidad de efectuar reacciones termonucleares en la Tierra, para utilizarlas como fuentes de energía, ha atraído la atención de numerosos investigadores, pero las secuencias anteriores, son muy lentas por lo cuál, no es posible que se lleven a cabo en la Tierra, y entonces se han propuesto otras reacciones entre los isótopos del hidrógeno, por ejemplo:



que se efectúan con la misma velocidad a una temperatura determinada, y:



cuya velocidad, a concentraciones equivalentes, es alrededor de 100 veces mayor que la de las anteriores.

Si estas reacciones pudieran efectuarse a velocidades razonables, el deuterio, que constituye el 0.015 % del agua, representaría una fuente casi inagotable de energía, ya que la cantidad de deuterio que se estima hay en los océanos, es de  $4.54 \times 10^{13}$  Ton.-

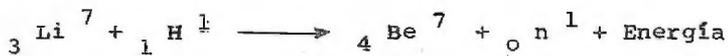
y considerando el hecho de que no toda la energía se puede aprovechar, se ha calculado que la energía aprovechable del deuterio, es de:  $7.56 \times 10^{26}$  Kcal, comparada con  $1.512 \times 10^{20}$  Kcal, obtenibles a partir de las reacciones de fisión.

La única en que se pueden obtener temperaturas del orden de millones de grados, es por medio de reacciones de fisión en una bomba atómica, ya que se ha logrado liberar grandes cantidades de energía cuando a una bomba atómica se le mezclan ciertas cantidades de deuterio y tritio, constituyendo lo anterior la base del funcionamiento de la bomba de hidrógeno, en donde la emisión de la energía es en forma violenta y por lo tanto no puede utilizarse productivamente.

Otras reacciones de este tipo que podrían emplearse en la producción de energía son las siguientes:



y



## C A P I T U L O IV

### RESERVAS DE ENERGIA.

De acuerdo a la proyección de futuras demandas de energía, se puede estimar la potencialidad de los recursos nacionales no-renovables, para lo cuál, es necesario conocer las reservas con que el país cuenta de sus diferentes recursos.

Las reservas probadas, son el volumen de combustible no renovable, susceptible de extraerse en forma comercial, de los yacimientos existentes y cuyo monto ha sido objeto de estimaciones técnicas adecuadas.

Las reservas probables, son aquellas que se han estimado en forma imprecisa y que por lo tanto, se desconoce su valor exacto.

Las reservas totales, son la suma de las reservas probadas más las reservas probables, Se ha estimado que las reservas totales de los diferentes energéticos nacionales, son:

#### RESERVAS DE CARBON MINERAL:

Las reservas totales de carbón mineral, ascendían en el año de 1970, a: 3,466,000,000 Ton; las de negro de humo y lignito, a 4,645,000,000 Ton cuyo grado de explotabilidad es del 60 al 90%, por lo cuál, se obtiene un valor de  $6 \times 10^6$  Ton. a las que es necesario restarles el valor de las explotaciones efectuadas hasta la fecha, pero estas reservas carboníferas, representan una cantidad equivalente a 1,100 veces la producción energética de 1970.

**PROCESOS DE GASIFICACION:**

Con el objeto de poder utilizar adecuadamente la energía contenida en éstas reservas, es necesario analizar el hecho de que el empleo directo del carbón como combustible, acarrea numerosos problemas inherentes a su estado físico, ya que su transporte es difícil, y algunas veces, al haber formación de polvo, este ocasiona explosiones, por lo cuál se han propuesto métodos de obtención de combustibles a partir del carbón, con lo que se logra aumentar el poder calorífico del combustible, siendo éstos procesos los de gasificación del carbón, que producen principalmente, gas natural sintético, con un poder calorífico diferente mismo que es función del proceso utilizado.

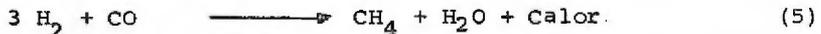
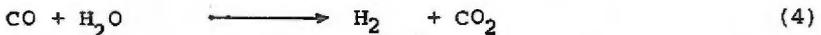
En cualquiera de éstos procesos, el costo del producto, es mucho mayor que el del gas natural, pero casi todos los procesos se encuentran en la etapa de planta piloto, pero encaminados a la consecución de un combustible más económico.

Los procesos más avanzados para la gasificación del carbono, son:

- a) Proceso Lurgi
- b) Proceso Bi-Gas
- c) Proceso Aceptor de  $\text{CO}_2$
- d) Proceso Hi-Gas
- e) Proceso Sintano

En cualquiera de ellos, es necesario adicionar hidrógeno a las moléculas de carbono, ya que su contenido es bajo, y eliminar los compuestos de azúfre, oxígeno y nitrógeno, para lo cuál es necesario que se efectúen las siguientes reacciones, dos de -

las cuáles, sirven para producir hidrógeno:



La reacción (5) es altamente energética, ya que libera :- 54,300 Kcal/Kgmol, pero debido a que debe efectuarse a temperaturas relativamente bajas, ésta cantidad de calor no puede utilizarse para efectuar la reacción (2) entre el carbón y el vapor de agua, pero podría ser útil en la generación de vapor.

En algunos procesos, el calor para la reacción endotérmica (2) se obtiene a partir de la combustión de parte del carbón con oxígeno puro, lo cuál aumenta el costo de producción del gas natural sintético. Posteriormente, el monóxido de carbono y el hidrógeno, reaccionan en presencia de un catalizador, para formar metano, principal constituyente del producto.

Independientemente del proceso utilizado, la producción del gas natural sintético en escala comercial, requiere de inversiones muy elevadas; además, de que las eficiencias máximas son de sólo 65 %, y de que requieren la mayoría de los procesos, de presiones elevadas.

Cualquier proceso de gasificación, requiere la solución de numerosos problemas relacionados con la naturaleza del carbón mismo, por ejemplo, para el sistema de alimentación del carbón, se han propuesto varias formas, ya que este presenta una tendencia a la aglomeración, y por lo tanto, se requiere un tratamien-

to previo, para alimentarlo ya sea en forma de sólido seco, ó como una suspensión en algún acéite derivado del petróleo.

La mayoría de estos procesos, presentan las desventajas - de su alto costo de mantenimiento, de requerir de grandes cantidades de energía, hidrógeno u oxígeno, provenientes de fuentes - externas, lo cuál conduce a un aumento en la economía del proceso.

El paso más importante, es la reacción de metanación, en la que se convierte el monóxido de carbono, en metano y que requiere del control adecuado de la temperatura, con el objeto de prevenir la desactivación del catalizador y la alteración de las condiciones del proceso, cosa un tanto difícil de lograr, ya que la reacción libera gran cantidad de calor, por lo que es necesario emplear reactores de lecho fluidizado con superficies indirectas, para lograr un enfriamiento más eficiente.

**PROCESO LURGI :**

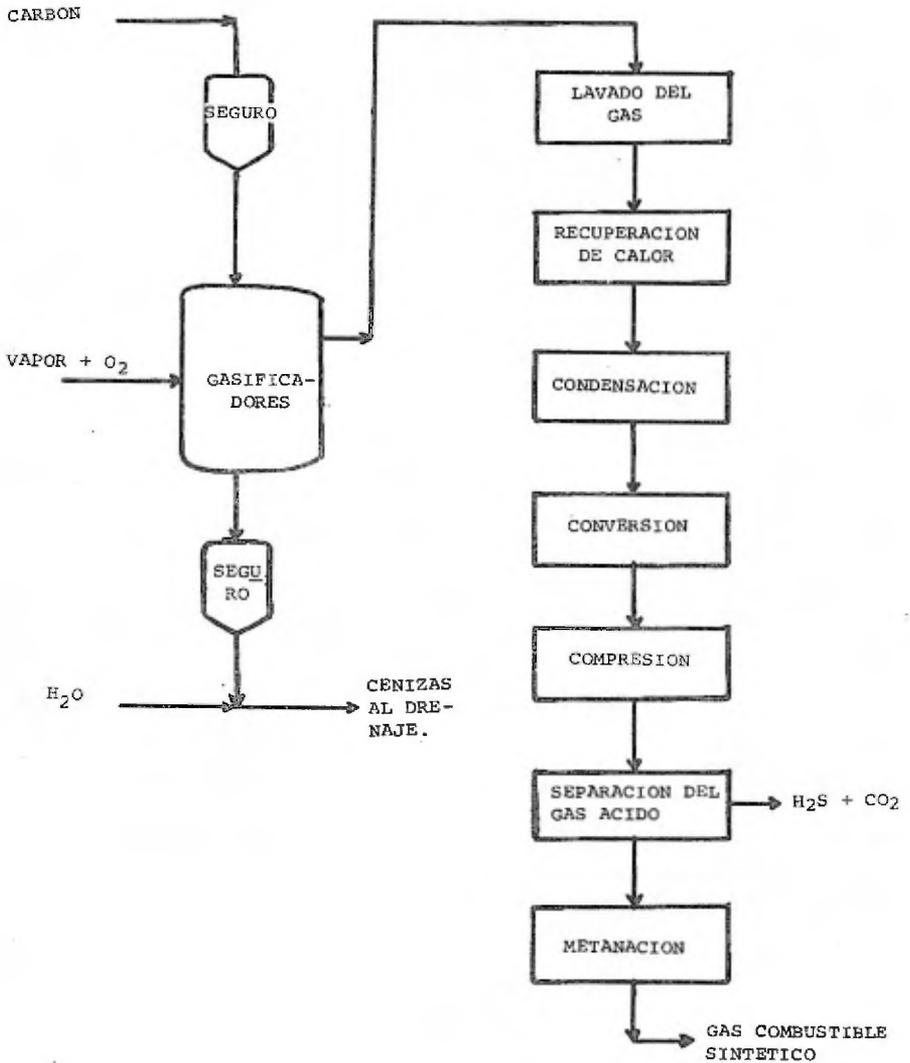
En la actualidad, el proceso Lurgi de gasificación del -- carbono a presión, es el único disponible comercialmente, pero -- produce un gas cuyo poder calorífico es muy bajo ( $4,420 \text{ Kcal/m}^3$ -standar).

El carbón se gasifica sobre un lecho fijo, empleando una-alimentación de oxígeno y vapor a una presión de 34 atm. El gas--obtenido que lleva polvo y alquitrán, se lava y se enfría, para--posteriormente conducirlo al reactor de metanación y obtener el-gas en condiciones de poder ser utilizado.

La ventaja de éste método, consiste en que ya se tiene ex-periencia sobre él, pero contra ésto, presenta costos de opera--ción y de mantenimiento muy elevados.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo para éste proceso:

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO LURGI DE GASIFICACION DEL CARBON A PRESSION



**PROCESO BI-GAS :**

Este proceso desarrollado por la Bituminous Coal Research Inc., opera con un reactor de 2 etapas que gasifica al carbón -- granulado y seco a presiones superiores a 75 atm.

El carbón se alimenta en la parte superior y se pone en -- contacto con una corriente de gas de síntesis producido en la -- sección inferior, convirtiéndose parcialmente el carbón en meta-- no y más gas de síntesis..

El residuo, se separa de la corriente gaseosa y es transfe-- rido en la sección inferior donde se gasifica por la reacción -- con oxígeno y vapor. Esto produce la cantidad de gas de síntesis necesaria para la parte superior, lo mismo que el calor requerido para efectuar la reacción endotérmica (2) del carbón con el va-- por de agua.

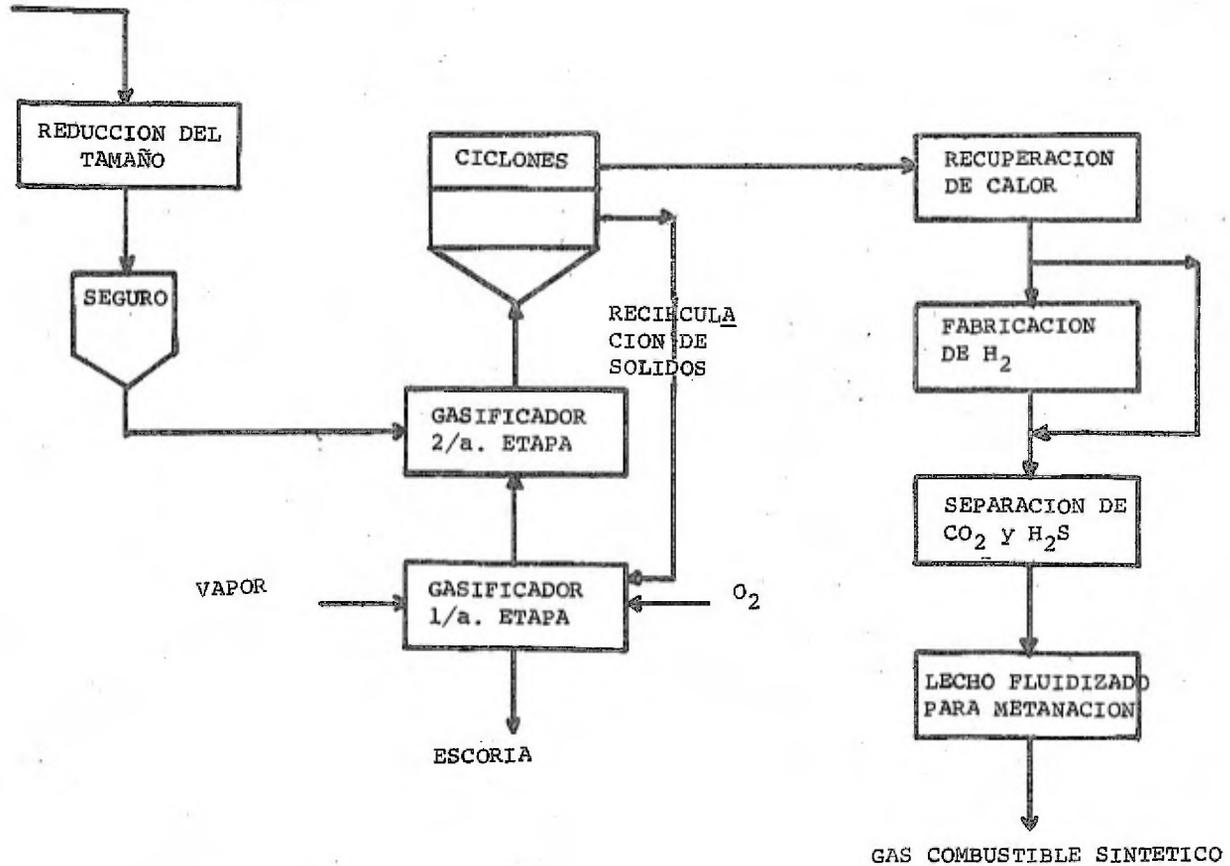
El gas proveniente del gasificador, se libera del polvo -- y se pasa a través de un convertidor, en donde son separados el -- ácido sulfhídrico y el anhídrido carbónico y se pasa sobre un ca-- talizador de óxido ferroso obteniéndose finalmente el gas.

La ventaja de este proceso, es que sirve para la mayoría-- de las variedades del carbono, desde el lignito, hasta los bitu-- minosos altamente volátiles.

El diagrama de flujo, se muestra en la siguiente gráfica:

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO BI-GAS

CARBON



### PROCESO ACEPTOR DE CO<sub>2</sub>:

Es más complicado, ya que la alimentación se hace como -- una mezcla de dolomita calcinada y carbón: la primera sirve para remover el CO<sub>2</sub>, liberando calor, que es utilizado en la reacción de gasificación.

El carbón seco y granulado, se alimenta en el primer reactor conocido como 'Devolatilizador', que contiene 2 lechos fluidizados, introduciéndose también la dolomita regenerada, el vapor y el gas proveniente del gasificador.

El producto gaseoso proveniente del devolatilizador, es -- una mezcla de metano, monóxido de carbono, hidrógeno e impurezas, las cuales es necesario que se remuevan, para poder conducir el gas al metanador y posteriormente comprimirlo para distribuirlo en forma de gas combustible.

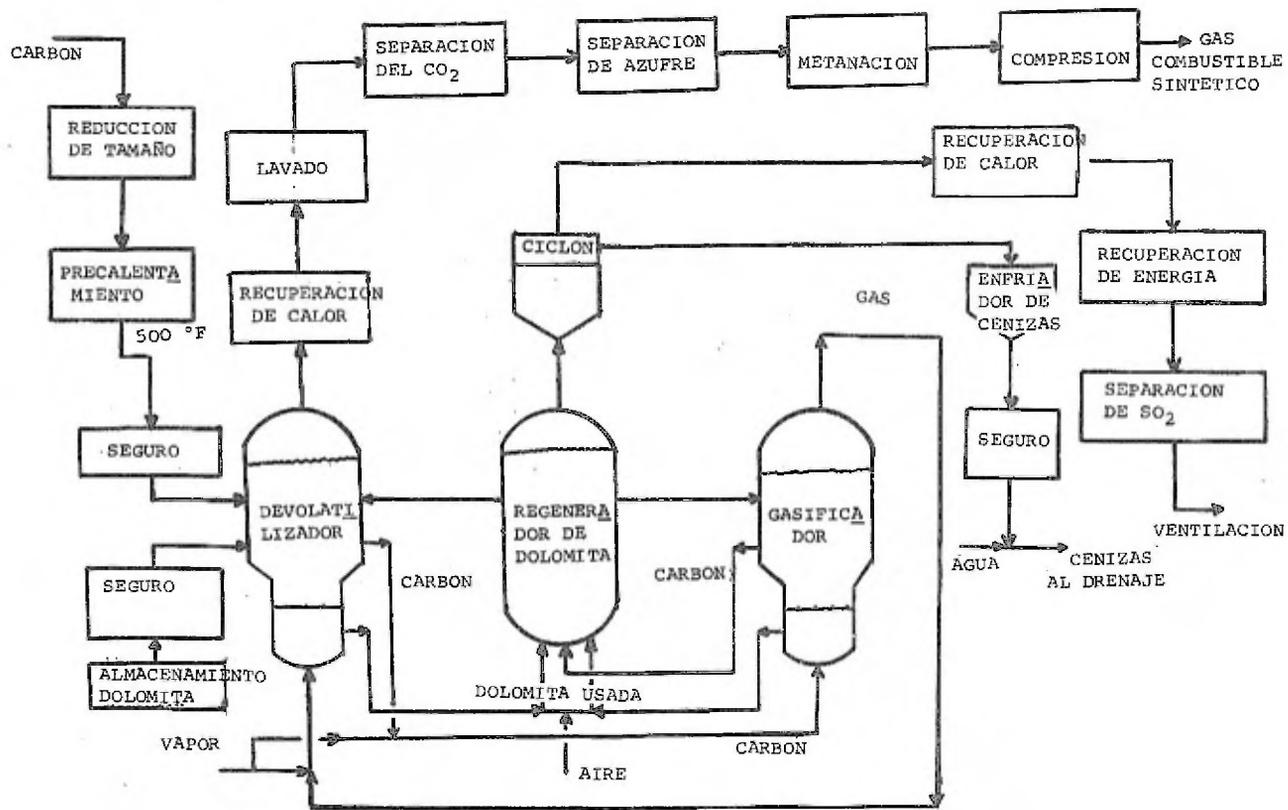
La dolomita que ya reaccionó, se pasa a un regenerador en donde se convierte de carbonato a óxido, haciendo circular aire. La dolomita regenerada, se recircula al devolatilizador y al gasificador.

Este proceso tiene la ventaja de que no se requiere un -- tratamiento previo del carbono, y que los productos están libres de nitrógeno y bióxido de carbono y que no utilizan hidrógeno -- proveniente de fuentes externas.

La dificultad principal es que hay 5 lechos fluidizados, -- por lo que aumentan considerablemente los costos de operación y mantenimiento.

El diagrama de flujo correspondiente, es:

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO ACEPTOR DE CO<sub>2</sub>



## PROCESO HIGAS :

Desarrollado por la Oficina de Investigación del Carbón y el Instituto de Tecnología Gaseosa, se considera como el más avanzado de la actualidad.

Está en proceso de construcción en E.E.U.U., una planta piloto para la producción de  $1.5 \times 10^6$  ft<sup>3</sup> standard diarios, a partir de 80 Ton de carbón.

El gas seco y granulado, se alimenta a una sección de pretratamiento en donde se mezcla con aire caliente para prevenir la aglomeración del carbón, y luego se le adiciona un aceite ligero, que puede ser un subproducto del mismo proceso y se bombea la mezcla resultante, al reactor principal.

La vaporización del aceite, permite al carbón caer libremente a través de la columna ascendente de hidrógeno y vapor. La temperatura y presión usadas en el hidrogasificador, causan que gran parte del carbón reaccione con el hidrógeno para producir metano.

Las impurezas tales como H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>, se remueven burbujando el gas y en el hidrogasificador se convierte aproximadamente la mitad del carbón, el resto sale a un electrogasificador, en donde se pasa una corriente eléctrica que suministra el calor necesario para que una gran cantidad del carbón, reaccione con vapor para producir CO y H<sub>2</sub>, los cuales son utilizados en el reactor.

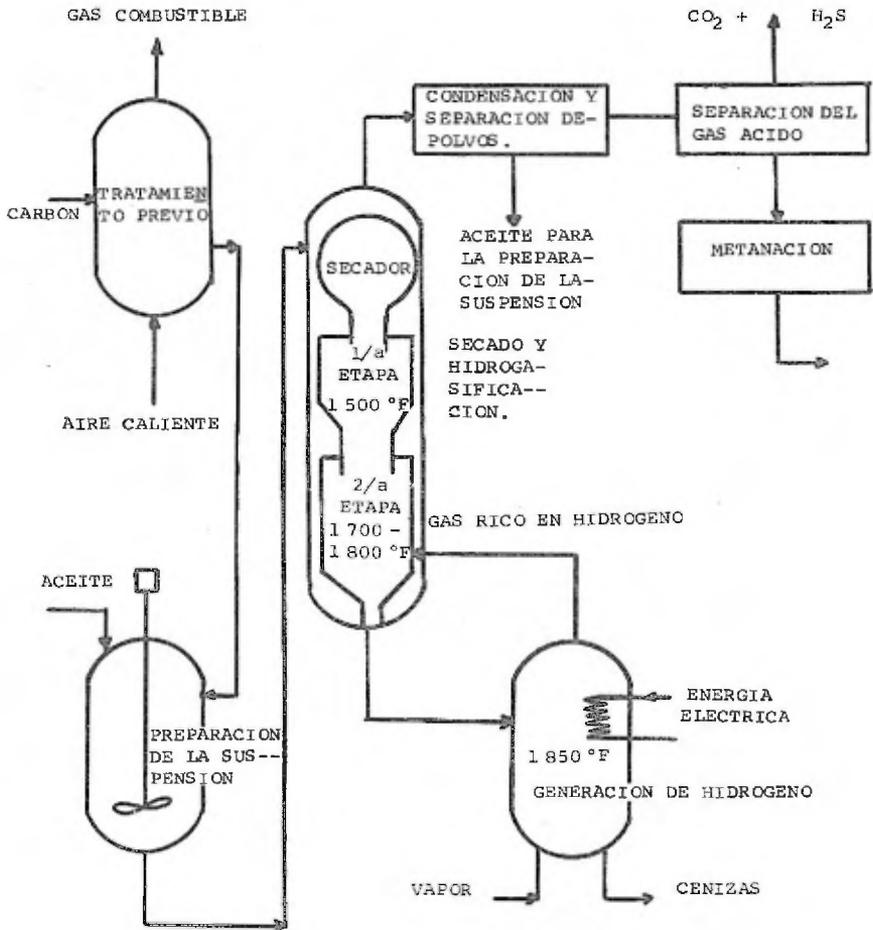
El carbón sin consumir, se podría utilizar como combustible, para producir la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del electrogasificador.

La necesidad de proporcionar energía extra (32 Kwh/ 10<sup>3</sup> -

ft<sup>3</sup> de gas), es una de las desventajas de éste proceso, mientras que sus ventajas, son la de tener un alto contenido de metano en el gas, además que éste proceso se efectúa a presiones no muy altas.

El diagrama de flujo, se muestra a continuación:

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO HYGAS



## PROCESO SINTANO :

Fue desarrollado por la Oficina de Minas de los Estados Unidos, y consiste en destruir las propiedades aglomerantes del carbón, tratándolo con vapor y oxígeno en un reactor de tratamiento previo. En esta etapa, se alimenta un octavo de la cantidad de vapor y oxígeno, del total requerido para todo el proceso.

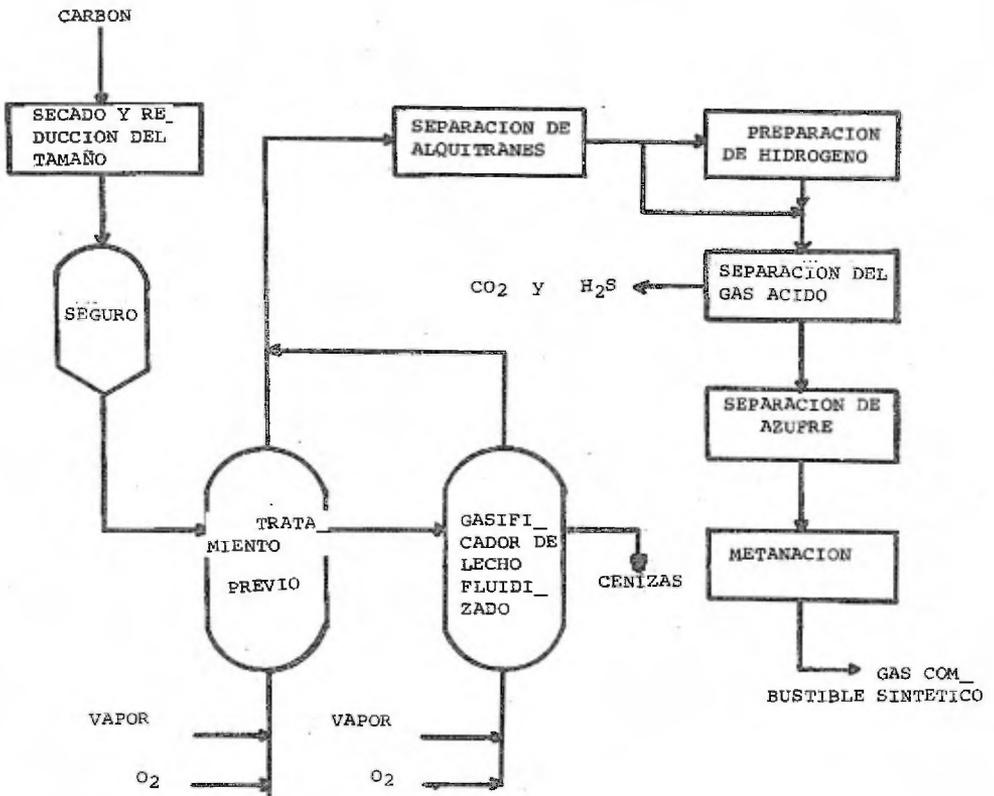
El producto se alimenta a un gasificador de lecho fluidizado, junto con más oxígeno y vapor, reaccionando con ellos el carbón, para formar metano, monóxido de carbono, hidrógeno y bióxido de carbono, obteniéndose también alrededor de un 30% de cenizas.

El gas liberado, contiene polvo y alquitrán, y con el objeto de eliminarlos, se les pasa por separadores ciclónicos y se burbujea en agua. El gas lavado se divide en 2 partes : 1/3 de ella, va a un convertidor para producir hidrógeno y el resto pasa a un separador de gas-ácido, para purificarse posteriormente y llegar a un metanador que contiene un catalizador de níquel Ray, en donde el monóxido de carbono y el hidrógeno, forman metano y agua en forma de vapor, obteniéndose finalmente el gas natural sintético.

Este proceso, parece ser económicamente atractivo, pero aún está en construcción la planta piloto, y además, es aplicable a varios tipos de carbón.

El diagrama de flujo del proceso anterior, es:

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO SINTANO



## RESERVAS DE PETROLEO Y GAS NATURAL :

En el caso de las reservas de hidrocarburos, las publicaciones son de las reservas probadas, en donde se observa que la política seguida por Pemex, es la de mantener una reserva probada de por lo menos veinte veces la producción anual del último año, política que puede no ser muy adecuada para un país como México, que depende energéticamente casi exclusivamente del petróleo y de el gas.

A continuación, se muestra la evolución de las reservas de hidrocarburos en los últimos años:

Reserva al 31 de Dic. de :	ACEITE MÁS CONDENSADO		GAS NATURAL	
	m <sup>3</sup>	Veces la prod. del año :	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Veces la prod.año
1966	478 916 072	22.3	331 999	22.2
1967	495 348 997	20.8	335 619	20.7
1968	503 439 186	19.7	334 714	20.5
1969	515 440 383	19.3	329 648	19.1
1970	522 792 462	18.5	322 731	17.1

Aunque las cifras anteriores son conservadoras, se puede observar la clara tendencia a la disminución de éstas reservas, con lo que no se mantiene constante la relación de 20 veces la producción anual, ya que cada año, merman las reservas debido al aumento gradual de la producción anual.

Debe hacerse notar que estas reservas NO SE UTILIZAN EXCLUSIVAMENTE, para la generación de energía, sino que son la base para la industria petroquímica, por lo que se debe tener una política adecuada con el objeto de aprovechar mejor ésta riqueza

natural, que no es renovable.

#### RESERVAS DE MATERIALES FISIONABLES:

Un estudio efectuado por el Instituto Nacional de Energía Nuclear, presenta como resultado que las reservas de uranio al 31 de agosto de 1970, eran de: 4,578,029 Ton de mineral de uranio, con una ley media de 0.0689 % de uranio 235, cantidad que equivale a 3,158 Ton de óxido de Uranio.

El valor energético de las reservas de uranio, equivalen a cerca de 120 veces la producción de energía primaria en México en 1970, pero de ésta cantidad, sólo una pequeña fracción podría disponerse a partir de los diferentes tipos de reactores de la actualidad, por lo que es necesario que se utilicen los reactores de cultivo, que se espera estén en operación comercial alrededor de 1985.

Los datos referentes a las reservas de óxido de torio, aún no se disponen en forma real.

#### RESERVAS TOTALES DE ENERGÍA :

Si tomamos como base la producción de energía en el año de 1970, se pueden obtener todas las reservas en una base común, llegándose a los siguientes resultados:

RESERVAS DE:	Veces la producción total de energía en 1970.	%
Petróleo	9.8	5.3
Gas natural	6.8	3.6
Carbón	48.0	25.7
Uranio	121.5	65.4
	TOTAL : 186.5	100.00

Donde se puede notar que aunque nuestras reservas totales son equivalentes a 200 veces la producción de energía de 1970, - menos del 10% corresponde a las fuentes de donde obtenemos más - del 90% de nuestra energía, ó sea del petróleo y del gas natural, mientras que la mayor parte de nuestras reservas, corresponden - al carbón que actualmente se utiliza en pequeña proporción y a - la energía nuclear que actualmente no se aprovecha, pero que a par - tir de 1976, se empleará con el arranque de la primera planta nu - cleoeléctrica que se instalará en Laguna Verde, Ver., con una ca - pacidad de 600,000 Mw y cuyo costo será de \$2,000,000,000.00.

La planta estará dotada de un reactor nuclear del tipo de agua hirviendo y el combustible se alimentará en forma de uranio enriquecido (2.6-2.8 % de uranio 235), el cuál ya se producirá - en el país, con excepción de la primera carga, que se adquirirá - en el extranjero, ya que se tiene solamente una planta de benefi - cio del mineral de uranio, situada en Villa Aldama, Chih., cuya - capacidad es de 60 Ton/día, pero se tiene pensado instalar en -- el futuro, otras plantas en diferentes lugares del país.

## C A P I T U L O V

### EL HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE EN EL FUTURO

Considerando el hecho de que las reservas de combustible fósiles están disminuyendo paulatinamente, y que tecnología química ha demostrado la mejor aplicación del petróleo, gas natural y carbón en la producción de valiosos y numerosos compuestos químicos, muchos investigadores se han dedicado a tratar de encontrar algún combustible sustituto de los fósiles.

La mayoría de ellos, coinciden en el hecho de que es conveniente la utilización de un "transportador de energía", en lugar de hacerlo de una fuente directa. Un transportador, se define como una fuente de energía que es renovable, que se produce en gran escala y que presenta numerosas ventajas en su transporte y almacenamiento.

El combustible que reúne las mejores características para la sustitución de los combustibles actuales, es el HIDROGENO, ya que actuaría como un transportador de energía, cosa que es posible, ya que en el futuro, las fuentes de energía primarias, serán las reacciones de fisión y de fusión, y aunque ésta forma puede proporcionar "calor limpio" a elevadas temperaturas, la energía nuclear no se puede convertir a otra forma aprovechable que no sea la electricidad, que en la actualidad se consume solamente como una quinta parte del consumo total de energía.

El hidrógeno puede desempeñar un papel muy importante en el

diagrama energético del futuro, ya que si se puede obtener en grandes cantidades, se puede utilizar en la reducción de minerales, en la hidrogenación del carbón, en la producción de amoníaco, ó podría usarse directamente como combustible.

Este energético, se podría obtener a partir del agua y el proceso que parece más adecuado, es la electrólisis, y aunque en la actualidad no competiría con el hidrógeno obtenido por otros procesos, debido al elevado costo de la electricidad, se espera que, con la utilización de reactores nucleares, se abarate ésta y por lo tanto, disminuya el costo de la electrólisis.

En la actualidad, el hidrógeno se obtiene por procesos que son modificaciones de la reformación con vapor del gas natural u otros derivados del petróleo, por lo cual el único proceso para la producción del hidrógeno, que no consuma hidrocarburos, es la electrólisis del agua, y en el mar, existiría una fuente casi inagotable.

Existen 2 tipos de electrolizadores:

a) Un tipo utiliza celdas tanque con electrodos monopolares en donde los cátodos y los ánodos alternados, están separados por diafragmas porosos para prevenir el mezclado de los gases y la conexión eléctrica en paralelo de todos los ánodos y cátodos, conserva el voltaje requerido de cerca de 2 volts, y permite altas densidades de corriente.

b) En las instalaciones bipolares, los electrodos son catódicos en un lado y anódicos en el otro y son conectados en serie y perfecta

mente aislados, por lo que se tiene una instalación más compacta, aunque más compleja en su diseño y que requieren de mayores voltajes.

Se han desarrollado procesos de electrólisis a alta presión y si la economía de la electricidad es favorable, ésta alternativa presenta muchas ventajas. El único electrolizador comercial de alta presión es el de Lurgi, GmbH, que opera a 30 atmósferas y 90°C, consumiendo 3,000 Amps a 217 volts.

En los Estados Unidos, se ha logrado que los consumos de -- energía eléctrica para una planta de un millón de libras de hidrógeno, por día, sea de 26 Kwh/ libra de hidrógeno y el monto de la inversión, asciende a \$ 1,125.00/ libra H<sub>2</sub> por día.

Otro proceso desarrollado por la General Electric, es a alta presión en fase de vapor, en presencia de zirconio a temperaturas de 500-800°C, diseñado en tal forma que se produce hidrógeno por el consumo del oxígeno que es un subproducto en dicho proceso, aunque no se conocen los datos exactos de operación, ni los referentes a la economía, ya que ambos procesos no llegan a la etapa de planta piloto.

El cracking directo del agua utilizando calor nuclear, se descarta por razones termodinámicas, ya que no se pueden obtener altos rendimientos a temperaturas menores de 2,500°C y ninguno de los reactores de la actualidad, son capaces de lograr tal temperatura.

El rendimiento se aumentaría si el proceso se efectúa en varias etapas, ya que para una reacción en un solo paso, la rapidez de cambio de la energía libre de Gibbs con la temperatura, es aproximadamente igual a la rapidez de cambio de entropía de la reacción.

Sin embargo, para una reacción que se efectúa en múltiples pasos, la secuencia en el cambio de entropía, no es fija y puede variar, dependiendo de las reacciones que ocurren, aunque presenta la dificultad de los materiales adecuados para ésta separación del agua sin electrólisis.

La secuencia más adecuada, consta de 4 pasos en donde utilizan compuestos de calcio, bromo y mercurio, que producen hidrógeno y oxígeno a temperaturas abajo de  $730^{\circ}\text{C}$ , temperaturas que sí son obtenidas en los reactores nucleares actuales. Este proceso, se conoce como MARK-I y no se consume ninguno de los materiales utilizados en la secuencia, siendo la reacción neta, la descomposición del agua, pero que presenta los problemas de la existencia de compuestos altamente corrosivos como el HBr a presiones y temperaturas altas.

Tampoco se dispone de una evaluación económica del Mark-I, y por lo tanto, deberá esperarse que entre a su etapa de planta piloto.

Para un futuro más lejano, cuando ya sean comerciales los reactores de fusión, se emplearía la radiación ultravioleta de la plasma de fusión del hidrógeno con elementos de masa mayor, en don

de se producen fotones de longitud de onda adecuada para descomponer al agua, en una forma similar a las reacciones que ocurren en la atmósfera superior.

Uno de los elementos apropiados para actuar como fuente de átomos de altas masas, es el aluminio.

Otras fuentes de hidrógeno, serían los boranos y los silanos, pero estos compuestos requieren de hidrógeno para su elaboración.

Cualquiera de los procesos que se utilicen para la descomposición del agua, produce simultáneamente oxígeno, mismo que podría utilizarse en las plantas de tratamiento residuales, en la metalurgia no ferrosa ó en los procesos mismos de combustión.

Una de las dudas que se tienen acerca de la utilización del hidrógeno como combustible, es acerca de su seguridad, ya que las mezclas  $H_2/O_2$ , son explosivas, pero si se controla adecuadamente, puede ser un combustible seguro, ya que igualmente combustibles, son las mezclas metano-aire, y sin embargo, la incidencia anual de explosiones, no ha disminuido la aceptación de este energético.

En Italia y E.E.U.U., se ha transportado hidrógeno a grandes distancias y hasta la fecha, no se han registrado accidentes.

#### TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO:

El transporte del hidrógeno, puede hacerse en forma similar al del gas natural, utilizando poliductos, pero la principal des-

ventaja de hacerlo así, es que como el hidrógeno es más ligero y tiene un poder de calentamiento más bajo que el gas natural en base de volúmen, se deberá bombear un volúmen de hidrógeno 3 veces mayor para tener el mismo contenido energético que con un sólo volúmen de gas natural, aunque ésta desventaja, se ve disminuída por el hecho de que con el mismo gradiente de presión y dimensiones de la tubería, el hidrógeno fluye 3 veces más rápido y por lo tanto un poliducto de la actualidad, se podría utilizar para transportar hidrógeno; se requeriría la misma cantidad de energía, pero la capacidad de las bombas deberá ser 3 veces mayor.

También podría transportarse el hidrógeno en forma líquida, en carros-tanque ó barcos acondicionados para tal fin.

Los costos de transporte del hidrógeno en poliductos, serían alrededor de 120 % de los costos de transporte del gas natural, y aunque éstos son elevados, es sólo la décima parte del costo equivalente de una cantidad de electricidad, pero se tendría la ventaja de que las plantas productoras de hidrógeno, se pueden construir más cerca del lugar de consumo y la longitud total de la tubería, minimizaría los costos de transporte, cosa que no es posible con el gas natural.

Como los gastos de transporte son relativamente pequeños comparados con los costos de producción y que los primeros son relativamente pequeños comparados con los costos de transporte de electricidad, el hidrógeno aparece más competitivo que la electricidad para su uso como generador de calor.

Otra ventaja que presenta el hidrógeno al utilizarlo como una fuente de calor, es que como su flama es más caliente, no se requiere de un ducto especial para la eliminación de los productos de combustión, misma que se efectúa sobre quemadores catalíticos que son simplemente placas de cerámica porosas.

Tomando en cuenta que el hidrógeno tiene una tendencia alta al escape, originada por su pequeño tamaño molecular, son mayores los problemas que se presentan en su almacenamiento, ya que por ejemplo, no podrían utilizarse los depósitos subterráneos vacíos de gas natural, sino que deberá almacenarse en tanques criogénicos, ó, también, en forma de algún compuesto químico, como amoníaco, metanol o ciclohexano, para posteriormente regenerar el hidrógeno en el lugar de consumo, lo cuál, lógicamente eleva el costo.

En la forma anterior, el almacenamiento, transporte y distribución, serían más seguros, pero más costosos. Si se hace a través de poliductos, se aumentaría la seguridad si la entrega se hace en forma de una mezcla con otro gas, ya que la dilución del hidrógeno reduce enormemente su límite de inflamabilidad. La mezcla podría hacerse en el punto de consumo, utilizando tubos concéntricos, en cuyo tubo interior, iría el hidrógeno y en el espacio anular, a manera de aislante térmico, circularía el gas diluyente.

## C O M E N T A R I O S

Aunque en la actualidad el problema de suministro de energía no ha conducido a una grave crisis en nuestro país, no deberemos esperar que ésto suceda, para tratar de resolver el problema, sino que es conveniente que desde ahora, se den alternativas adecuadas a nuestra realidad nacional.

Basados en lo expuesto anteriormente, las soluciones a este problema, se podrían dividir en dos períodos de tiempo diferentes:

1.- El primero de ellos, se refiere a un "futuro inmediato", en el cuál, la solución serían necesariamente, los combustibles sintéticos obtenidos a partir de la gasificación del carbón, dado que ésta fuente es la segunda en reservas con que contamos, y:

2.- Las opciones a un plazo más lejano, que incluye como única solución, la energía nuclear, que necesariamente conducirá al empleo de la electricidad y el hidrógeno como únicos energéticos.

Para que se pusiera en práctica la primera solución es necesario que las diferentes Instituciones Nacionales relacionadas con el problema de la energía, investigaran sus propios métodos para la gasificación del carbón, para que disminuyamos nuestra dependencia del extranjero que tanto afecta a nuestra economía.

Además, considerando que la energía nuclear contenida en nuestras reservas de materiales fisiónables, es la mayor cantidad-

de todas, sería conveniente aprovechar al máximo la energía existente en ésta fuente, para lo cuál es necesario que se pongan en funcionamiento los conocidos como Reactores de Cultivo, aunque en este renglón, debido a nuestra condición económica, es más difícil que se haga investigación en este renglón ya que el costo de éstos sistemas, es mucho mayor que otros.

Las otras fuentes con que se cuenta en el país, como la hidroeléctrica y la geotérmica, solamente podrán contribuir en forma complementaria a la solución de el suministro de cantidades cada vez mayores, en nuestro país y no se estima muy probable que las otras fuentes mencionadas, puedan competir en un futuro muy próximo.

El problema de escasez de energía, debería preocuparnos sobremedida, si se perdiera la fe en nuestra capacidad de invención, y aunque nos parezca que la ciencia ha logrado junto con la técnica, su máximo desarrollo, dado su carácter perfectible, siempre se lograrán adelantos que conducirán a la humanidad hacia niveles de vida cada vez más elevados, convirtiendo en realidad uno de los sueños perennes de ésta.

B I B L I O G R A F I A :

- POPOVICH and HERING  
Fuels and Lubricants  
J. Wiley . 1968
- BARNETCHE A. y RODRIGUEZ M.  
Las reservas petroleras de la Rep. Mexicana  
Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros. Vol II, n/o 2. Feb.1956
- DANIELS  
Direct uses of Solar Energy
- CUERON AND LANE  
Economics of Nuclear Power
- ENERGY AND POWER  
Scientific American : v,224 n/o 3  
Spt 1971
- ANUARIO ESTADISTICO COMPENDIADO  
S.I.C. D.G.E. 1970/1971
- VIII CENSO INDUSTRIAL  
S.I.C. D.G.E. 1966
- Breve analisis factorial sobre energía eléctrica y gas  
Comisión de tarifas de electricidad y gas  
S.I.C. Agosto de 1972
- PRONOSTICOS DE DEMANDA  
Oficina de Mecanización y Computación  
PEMEX Julio de 1972
- WORLD POWER CONFERENCE SURVEY OF ENERGY RESOURCES  
The Central Office of World Power Conference

1968

- Dr. Freddy Ba Hli

FUENTES DE ENERGIA NO USUALES

- VILLARREAL, D.E.

Fuentes electroquímicas de corriente

Limusa Wiley.1971

- Gutiérrez Cornejo Antonio

Catálogo de fuentes electroquímicas de energía eléctrica

Monografía, UNAM.1971

- GAMOW AND CRITCHFIELD

Theory of Atomic Nucleus and Nuclear Energy Sources

Oxford at the Clarendon Press

- Putman

Energy in the future

Van Nostrand

- Loftness

Nuclear Power Plants

Van Nostrand.1964

- State of the Nuclear Power Industry

COMBUSTION, June.1972

- Process liquids to SNG

Hydrocarbon Processing, Vol.51.N/o 4, April 1972

ALONSO H., FERNANDEZ, G., AND GUIZA J.,

Power generation in Mexico from Geothermal energy

World Power Conf., 7 th. Moscow

\*\*\* EMPRESAS TOLTECA DE MEXICO \*\*\*  
 SISTEMA PARA EVALUACION DE PROYECTOS

PAG. 9

PROYECTO : \*\*\*\*\* FORMOL \*\*\*\*\*  
 NUMERO : 15 01  
 CODIGO : 021110

Division : Uno  
 CORRIDA BASE :  
 OCT 6, 1983 NUM. 12

REPORTE 2.04 ANEXOS DE LOS ESTADOS FINANCIEROS

***** INTEGRACION DE LAS VENTAS *****				
		1992	1993	1994
PRODUCTO	UNIDAD			VENTAS EN UNIDADES
Formaldehido 37 % peso		12 000.00	12 000.00	12 000.00
VOLUMEN DE VENTAS		12 000.00	12 000.00	12 000.00
				VENTAS EN MILES DE \$
Formaldehido 37 % peso		1 360 360.251 650	120.251 929 000.25	
VENTAS TOTALES BRUTAS		1 360 360.251 650	120.251 929 000.25	
PRECIO PONDERADO	\$	113 364.00	137 510.00	160 750.00
INVENTARIO INICIAL		328.76	328.76	328.75
PRODUCCION		12 000.00	12 000.00	12 000.00
VENTAS		12 000.00	12 000.00	12 000.00
INVENTARIO FINAL		328.76	328.75	328.75