

Reg. 26



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**MODELO DE TRANSICION HACIA ESCENARIOS
ENERGETICOS RENOVABLES CON CAMBIOS
ESTRUCTURALES ORIENTADOS EN EL USO
FINAL DE LA ENERGIA. CASO DE MEXICO**

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE

F I S I C O

P R E S E N T A D A P O R :

JORGE MARCIAL ISLAS SAMPERIO

NOVIEMBRE DE 1987



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 está 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.

C O N T E N I D O

Pág.

INTRODUCCION	I
1. ENERGETICA: PRINCIPIOS TERMODINAMICOS	1
1.1 Introducción	1
1.2 Las Leyes Convencionales de la Termodinámica	2
1.3 Calidad Termodinámica de la Energía y Eficiencia de Primera Ley	13
1.4 Principio de Degradación de la Energía	21
1.5 La Exergía	25
2. METODOLOGIAS DEL ESTUDIO DEL USO FINAL DE LA ENERGIA	36
2.1 Introducción	36
2.2 La Estructura del Sistema Energético Mexicano	37
2.3 El Uso Final de la Energía Basado en los Análisis Exergéticos de las Tareas Específicas	41
2.4 El Uso Final de la Energía Basado en los Análisis de Primera Ley de la Realización de las Tareas Específicas	49

	Pág.
3. USO FINAL DE LA ENERGIA EN MEXICO	55
3.1 <i>Introducción</i>	55
3.2 <i>Uso Final de la Energía Comercial</i>	58
3.2.1 <i>Sector Residencial-Comercial-Público</i>	58
3.2.2 <i>Sector Industrial</i>	66
3.2.3 <i>Sector Transporte</i>	72
3.2.4 <i>Sector Agropecuario</i>	76
3.2.5 <i>Sector Pemex</i>	78
3.3 <i>Uso Final de la Energía no Comercial</i>	103
3.4 <i>Análisis del Uso Final de la Energía</i>	110
4. LOS FUTUROS REQUERIMIENTOS DE ENERGIA	116
4.1 <i>Introducción</i>	116
4.2 <i>Energía y Economía</i>	118
4.3 <i>Los Futuros Requerimientos de Energía:</i>	
<i>La Aproximación Convencional</i>	120
4.4 <i>Los Futuros Requerimientos de Energía:</i>	
<i>La Aproximación Alternativa</i>	123
4.4.1 <i>Patrones Corrientes del Uso de la Energía en México</i>	125
4.4.2 <i>El Potencial de Ahorro de Energía en México</i>	127
4.4.2.1 <i>El Potencial Practicable de Ahorro de la Energía en el Sistema Energético Mexicano</i>	134

	Pág.
4.4.3 Población y Nivel Medio de Vida	145
4.4.4 El Período de Transición	148
4.4.5 Cambios Estructurales en el Uso Final de la Energía y Estimación de los Fu- turos Requerimientos de Energía	150
4.4.6 Futuros Escenarios Energéticos	155
5. LAS FUENTES NO RENOVABLES DE ENERGIA	158
5.1 <i>Introducción</i>	158
5.2 <i>El Petróleo</i>	160
5.3 <i>El Gas Natural</i>	165
5.4 <i>El Carbón</i>	168
5.5 <i>La Geotermia</i>	170
5.6 <i>El Uranio</i>	172
6. LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA	174
6.1 <i>Introducción</i>	174
6.2 <i>La Energía Solar Directa</i>	177
6.3 <i>La Biomasa</i>	181
6.4 <i>La Energía Eólica</i>	186
6.5 <i>La Hidroenergía</i>	188
7. ESCENARIOS DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA	192
7.1 <i>Introducción</i>	192
7.2 <i>Escenarios del Potencial de las Fuentes Renova-</i>	

	Pág.
<i>bles de Energía</i>	192
7.3 <i>Escenarios de Contribución Futura de las Fuentes Renovables de Energía</i>	196
8. ESTRATEGIAS ENERGETICAS	202
8.1 <i>Introducción</i>	202
8.2 <i>La Estrategia: Hacia un Futuro Energético Renovable</i>	203
9. CONCLUSIONES	206
BIBLIOGRAFIA CITADA	215
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	219
ANEXO I	226
ANEXO II	230
ANEXO III	233

INTRODUCCION

México es un país con grandes pero finitos recursos petroleros. El petróleo hasta ahora tiene un papel primordial dentro de la economía. Por un lado, es el principal generador de divisas que se necesitan para cumplir con la enorme carga de la deuda externa que asfixia la economía del país. Por otro lado, es el principal agente energético que sostiene la productividad y los múltiples servicios que dan vida a la nación.

Esta monodependencia ha sido constantemente señalada como peligrosa, pues el petróleo (y más en general cualquier hidrocarburo) es un energético no renovable, y por lo tanto, destinado a agotarse. El país no podrá sostenerse por mucho tiempo en ésta situación y es necesario buscar otras opciones que a futuro puedan darle continuidad.

Desde otro punto de vista, el manejo que se le ha dado a -- nuestros hidrocarburos no ha sido del todo satisfactorio para el consenso nacional; por el contrario, hacia el exterior del país, se presenta la falsa ilusión de hacer de nuestros hidrocarburos la mejor carta crediticia del país, lo cual ha propiciado un mayor endeudamiento, y hacia el interior, tenemos una economía petrolizada que ha provocado varios desequilibrios sociales, económicos y ecológicos.

El sistema energético mexicano es un fiel reflejo de esta situación, y está plagado de una serie de asimetrías e inerencias que lo hacen injusto e inadecuado. Entre otras, sobresalen las siguientes:

1. Incremento desproporcionado del consumo de la energía comercial por parte de los sectores Transporte, Industrial y Energético, en perjuicio de los sectores Agropecuario y Residencial-Comercial-Público.
2. Crecimiento acelerado del Sector Eléctrico, catalizado por un Sector Industrial cada vez más ávido de electricidad; no obstante que el 25% de la población carece de éste energético.
3. Herencia de una estructura de consumo final de la energía comercial fuertemente subsidiada, y que hoy se ha --

tratado de revertir, no sin afectar duramente a los grupos sociales más débiles del país.

4. Aumento de la tendencia en confiar cada vez más en fuentes no renovables de energía para satisfacer la demanda energética. Las principales investigaciones, planes e inversiones consideran, primordialmente, a los energéticos no renovables, marginando así el estudio y desarrollo de las fuentes renovables de energía.
5. Abandono, tanto del análisis, como de la satisfacción de las necesidades energéticas de un gran sector de la población que habita en el campo mexicano.
6. Distribución sumamente desigual del consumo de energía comercial entre los diferentes grupos sociales.
7. Uso y manejo ineficientes de la energía son sellos característicos del sistema energético mexicano en general, y en modo particular del sector Energético.
8. La contaminación de las ciudades, selvas y costas mexicanas, ha demostrado ser el medio más eficaz por el cual los mexicanos sabemos que tenemos hidrocarburos. El Estado, lejos de optar por desarrollar proyectos energéticos más "sanos" desde el punto de vista ecológico

co, está desarrollando otros que implican graves riesgos como el complejo nucleoelectrico de Laguna Verde, - Ver.

Toda ésta serie de puntos son complementarios entre sí, forman parte de una situación que amenaza colapsar el país si no se toman medidas radicalmente diferentes desde ahora.

Atender esta problemática es la motivación principal que me hizo escribir la presente tesis. Sin embargo, no se pretende hacer de ella una propuesta utópica, por lo contrario, es en sí mismo un estudio hecho con fundamento prospectivo, término consistente en determinar primero el futuro deseado -- creativamente y libre de restricciones. En su proceso de -- aplicación se diseña el futuro deseado. El pasado y el presente no se toman como restricciones porque entran a considerarse en el siguiente paso cuando, con la imagen del futuro deseado en mente, la planeación prospectiva explora los futuros factibles y selecciona el más satisfactorio. Posteriormente plantea la formulación de los objetivos y la búsqueda activa de medios para su obtención(15). En un esquema de -- planeación, la prospectiva puede representarse con las líneas gruesas de la fig 0.1.

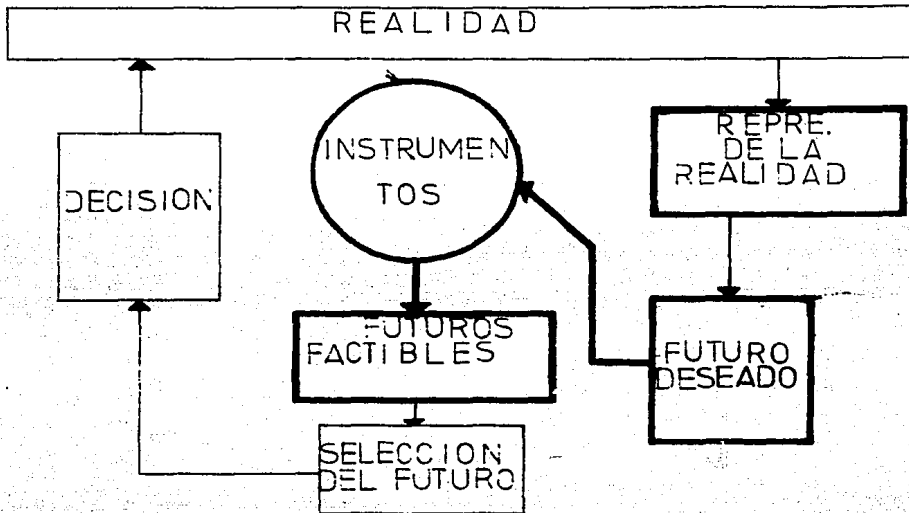


Figura 0.1. Prospectiva

La tesis principal que se sustenta en este trabajo es la de poder llegar a establecer en el futuro un sistema energético sostenido por fuentes renovables de energía, libre de la serie de deficiencias que se hicieron ver con anterioridad y - otras más que se harán observar en el desarrollo del presente trabajo. Es pues, esta tesis la que conforma nuestro futuro deseado.

De acuerdo con la prospectiva, se establece que se deben buscar:

- 1) Una representación apropiada de la realidad
- 2) Los instrumentos a través de los cuales podamos reorientarnos hacia nuestro futuro deseado, y
- 3) Determinar los futuros factibles que pueden emerger.

Esta labor se cristalizó en 9 capítulos y anexos de la siguiente manera:

Capítulo 1. A partir de principios de la termodinámica se elaboró una estructura teórica de los procesos de conversión de la energía y se llegó a definir un modo alterno y más eficaz para medir el derroche en el uso de la energía: la eficiencia exergética.

Capítulo 2. A consecuencia del desarrollo teórico, tratado en el capítulo 1, surgen dos metodologías para determinar el uso final de la energía, lo cual constituye el punto en donde se genera la real demanda de energía y, por tanto, es de importancia conocerla como una parte medular de nuestra realidad.

Capítulo 3. Con el uso de una de las metodologías desarrolladas se cristaliza una primera aproximación del uso final de la energía en México. Esta metodología se denomina de -- "Primera Ley", la cual se eligió por criterio en la dispo-

bilidad de información al respecto.

Capítulo 4. En él se determinan los requerimientos futuros de energía del país a corto y largo plazos, estimados de un modo alterno a como convencionalmente se hacen. Este modo alterno se denomina "análisis paramétrico" y toma en consideración el uso eficiente de la energía, el crecimiento de la población e introducción de mejoras en el nivel medio de vida. Asimismo se incorporan cambios estructurales en el uso final de la energía que se consideran benignas.

Capítulo 5. Se exploran las fuentes no renovables de energía. Se atiende a su potencial probado, el grado de madurez y asimilación de su tecnología y sus aspectos económicos y ecológicos. Es de importancia mencionar, que estos energéticos son apreciados bajo una óptica para que puedan ser utilizados como energéticos de transición hacia el uso de energéticos renovables.

Capítulo 6. Se exploran las fuentes renovables de energía y se hace énfasis en el análisis de las triadas fuente-tecnología-uso final. Se revisa el potencial energético que puede ser aprovechado, el grado de comercialización de sus tecnologías, el desarrollo de su infraestructura tecnológica y de investigación en el país, considerándose también sus aspectos ecológicos.

Capítulo 7. Se elaboran escenarios futuros de contribución de los energéticos renovables, en relación a los requerimientos futuros de energía que se calcularon en el capítulo 4.

Capítulo 8. Se hace resaltar la importancia de llevar a cabo determinadas estrategias energéticas que nos aproximarían a nuestro futuro deseado. Estas estrategias no pretenden -- ser las únicas, pero el realizarlas es de gran importancia.

Finalmente, en el Capítulo 9 se exponen las conclusiones de este trabajo. Los anexos son soportes estadísticos y de cálculo de esta tesis.

No quiero terminar la introducción a la presente tesis sin -- antes mencionar que ella tiene como antecedente el trabajo -- "Global Worksnop OnEnd Use Oriented Energy Strategies. The case of Mexico" realizado por el grupo de energética de la -- Facultad de Ciencias. En este sentido, la misión del trabajo que hoy presento fue el de continuar y mejorar lo antes -- estudiado y analizado que espero asimismo haber logrado en -- mi exposición.

1. ENERGETICA: PRINCIPIOS TERMODINAMICOS

1.1 *Introducción*

La termodinámica es la ciencia que suministra la base científica para analizar los procesos de conversión de energía; -- por tanto, es una piedra angular para la comprensión actual y planeación futura del consumo de energía y de sus repercusiones socio-económicas y ambientales.

En el presente capítulo se realiza un análisis termodinámico que tiene como finalidad establecer un marco teórico para abordar la problemática energética y definir criterios de -- eficiencia de la energía, lo cual está íntimamente relacionado con la elaboración de metodologías para establecer el uso final de la energía y con la construcción de un lenguaje cuyas definiciones y términos sean la base del desarrollo de -

esta tésis.

1.2 Las Leyes Convencionales de la Termodinámica

La termodinámica clásica es una ciencia netamente empírica, que ha abstraído las leyes que la rigen de hechos observables y acordes con resultados de laboratorio; como teoría macroscópica, establece relaciones entre estados de equilibrio y se vale de procesos ideales y también llamados reversibles entendidos como una sucesión infinitamente lenta de estados en equilibrio que ocurren sin fricción para aproximarse a los procesos reales también llamados irreversibles.

Tres son las leyes que definen prácticamente toda la termodinámica clásica. Empezaremos por discutir la ley cero. Para ello, consideremos el sistema aislado de los alrededores o sea, sin interacción de ningún tipo con su exterior que aparece en la fig 1.1.

El sistema tiene un solo tipo de gas que está dividido por una pared rígida, la cual no permite transferencia de calor entre ambas partes; o sea, la pared divisora es rígida y adiabática. Dadas estas restricciones, el sistema se encuentra en equilibrio termodinámico: a cada lado de la pared divisora se mantienen las presiones y volúmenes mostrados en la figura 1.1. Supongamos ahora que la pared deja de ser

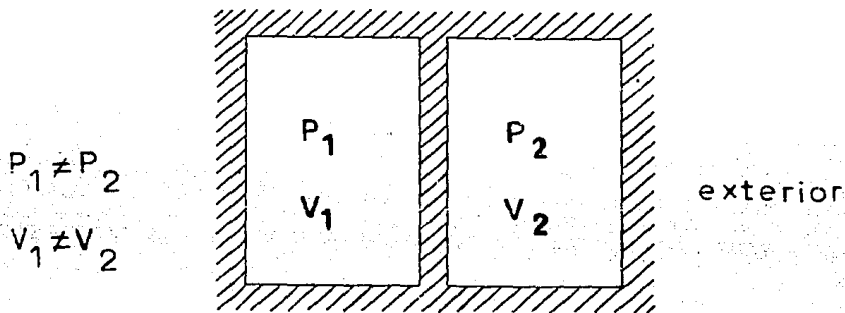


Figura 1.1

adiabática, permitiendo que exista un flujo de calor a través de ella. El sistema total, como está aislado, sabemos que alcanzará un estado de equilibrio; esto significa matemáticamente que existe una relación

$$g(P_1, V_1) = g(P_2, V_2) = T \quad (1.1)$$

donde la forma analítica de la función g depende de la naturaleza del sistema que estemos considerando. En esencia, esto es lo que conocemos como ley cero(6). Usualmente, dicha ley es enunciada en los siguientes términos: "dos cuerpos,-

cada uno en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí". Nótese que esta ley introduce la existencia de una propiedad llamada temperatura, T , la cual es una variable que se puede medir directamente. Además, la ecuación 1.1 establece que existe implícitamente una función $g(P, V) - T = F(P, V, T) = 0$, que relaciona la variable T con otras variables fácilmente medibles; en nuestro caso son la presión P y el volumen V . Tal función se denomina función - estado, y relaciona estados en equilibrio de un sistema.

La primera ley de la termodinámica, expresada en su forma -- más común, es simplemente el enunciado del principio de la - conservación de la energía; matemáticamente se expresa como:

$$dQ - dW = du \quad (1.2)$$

donde

W trabajo o medios mecánicos de transferencia de energía.

Q calor o medios no mecánicos de transferencia de energía.

En términos más comunes, esta ley establece que: Energía ne ta que entra ó sale del sistema = Acumulación o decremento de energía en el sistema.

Por otro lado, tal ley asevera que las dos únicas formas de energía en transición o energías que se pueden transferir a distancia son el trabajo (W) y el calor (Q). El trabajo implica necesariamente una acción de fuerzas actuando sobre los límites del sistema; cualquier otro modo de interacción del sistema con los alrededores lo denominaremos calor. Sin embargo, lo fundamental es que dicha ley nos prohíbe de manera determinante una sola cosa: crear energía. Por lo demás, no hace ninguna distinción entre calor y trabajo. En efecto, la integración cíclica de la ecuación 1.2, como después justificaremos, establece una igualdad entre ambos tipos de energía:

$$\oint dQ - \oint dW = 0 \quad (1.3)$$

Esta ley tampoco opone restricción alguna a cualquier transformación de energía(9) lo que veremos posteriormente es que esto no va a ser completamente cierto, pero primero tendremos que introducir la segunda ley de la termodinámica.

La segunda ley de la termodinámica la enunciaremos en términos de la entropía; por tanto, explicaremos antes este concepto. Podemos entender la entropía como una medida del grado de restricciones de un sistema(6), de tal modo que la entropía de un sistema será menor cuantas más restricciones -- tenga éste, y viceversa. Veamos un ejemplo.

Partamos del hecho de que cualquier sistema termodinámico en estado de equilibrio queda completamente determinado al especificar las restricciones que se le han impuesto, y consideremos el caso de un péndulo simple en un plano como el que se muestra en la fig 1.2. En este caso, tenemos una bolita de masa m que pende del extremo de una cuerda de longitud L y que se encuentra desplazada en un ángulo θ de la posición vertical. Es necesario que apliquemos una fuerza $F = mg \sin \theta$ en la dirección tangencial a la bolita para que ésta se halle en equilibrio.

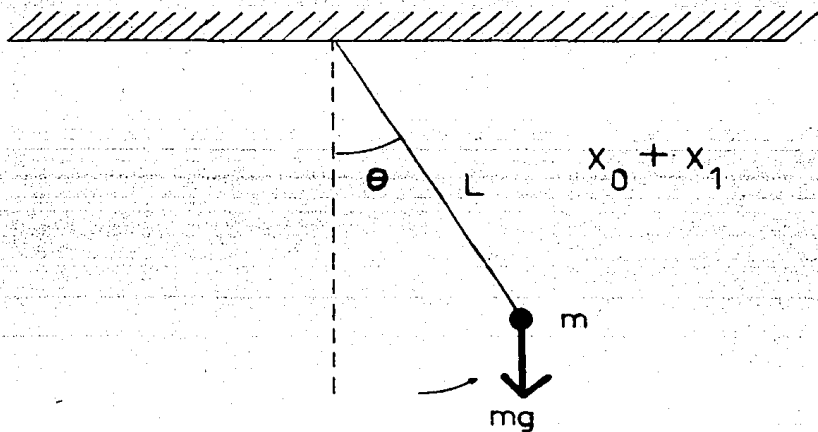


Figura 1.2

Al describir tal estado de equilibrio, necesitamos dos varia

bles independientes: L y θ . Supongamos que quitamos la fuerza F : la bolita se mueve hasta detenerse en la posición vertical, debido a la fuerza de fricción. En este momento, hemos perdido un grado de libertad: el ángulo θ que ahora vale cero y solo requerimos una variable independiente, L , para describir el estado de equilibrio del sistema (fig 1.3).

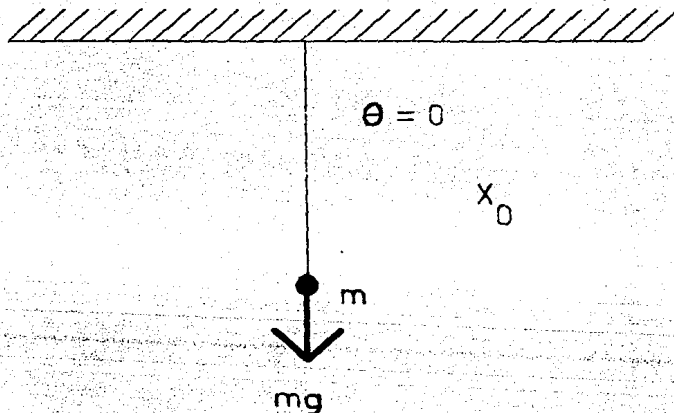


Figura 1.3

Si llamamos restricción X_1 a la fuerza tangencial y X_0 a la restricción de mantener la bolita a una distancia L del punto de giro del péndulo, vemos que el estado inicial es más restringido, ya que tenemos dos restricciones, $X_0 + X_1$ y necesitamos dos variables independientes, θ y L , para descri-

bir el estado del sistema; mientras que el estado final es -- menos restringido; solo tiene la restricción X_0 , por tanto, -- ha disminuido el número de grados de libertad, pues ahora so lo tenemos una variable independiente. De acuerdo con nuestra definición de entropía, el estado inicial con $X_0 + X_1$ -- restricciones, tiene menor entropía que el estado final.

Como otro ejemplo, volvamos a considerar el sistema de la -- fig 1.1, que sirvió para explicar la ley cero. En su estado inicial de equilibrio, el sistema poseía tres restricciones: la restricción X_0 , porque el gas está aislado del exterior; -- la X_1 , porque la pared divisora es rígida; y la restricción -- X_2 , porque dicha pared es adiabática.

Podemos describir el estado de equilibrio de este sistema -- con cuatro variables independientes: P_1 , V_1 , P_2 y V_2 . Al -- quitar la restricción X_2 (que la pared sea adiabática), se -- pierde un grado de libertad: se establece un flujo de calor y el nuevo estado de equilibrio final se puede caracterizar con sólo tres variables como se puede inferir de la ecuación 1.1 que describe el estado final de este sistema. El sistema pasó de un estado de menor entropía a un estado de mayor entropía.

Entonces al aumentar la entropía se reduce el número de gra-

dos de libertad producto de que se están quitando restricciones al sistema. Por otro lado, al quitar una restricción, el sistema transfiere energía; en los ejemplos citados, la transferencia de energía se realizó a través de trabajo mecánico (péndulo simple) y de calor (gas aislado). Por el contrario, para imponer restricciones a un sistema con objeto de llevarlo a una nueva situación de equilibrio (o sea, disminuirle su entropía), se requiere necesariamente trabajo. Es claro pues que existe una relación unívoca entre los conceptos entropía, restricción, grado de libertad y transferencia de energía. Como se verá, estas ideas son esenciales para comprender la segunda ley y el desarrollo que sigue.

La segunda ley de la Termodinámica establece que cualquier proceso espontáneo que suceda dentro de un sistema aislado provoca que la entropía del sistema permanezca igual o aumente. Matemáticamente se expresa como:

$$dS_{\text{aislado}} > 0 \quad (1.4)$$

Así enunciada, dicha segunda ley se conoce como "el principio del incremento de la entropía". En la expresión 1.4 la igualdad se presenta cuando los procesos termodinámicos dentro del sistema son reversibles o ideales, y la desigualdad cuando estos son irreversibles o reales. Dado que podemos encerrar cualquier proceso real en una porción del universo,

bir el estado del sistema; mientras que el estado final es -- menos restringido; solo tiene la restricción X_0 , por tanto, -- ha disminuido el número de grados de libertad, pues ahora so lo tenemos una variable independiente. De acuerdo con nues-- tra definición de entropía, el estado inicial con $X_0 + X_1$ -- restricciones, tiene menor entropía que el estado final.

Como otro ejemplo, volvamos a considerar el sistema de la -- fig 1.1, que sirvió para explicar la ley cero. En su estado inicial de equilibrio, el sistema poseía tres restricciones: la restricción X_0 , porque el gas está aislado del exterior; -- la X_1 , porque la pared divisora es rígida; y la restricción-- X_2 , porque dicha pared es adiabática.

Podemos describir el estado de equilibrio de este sistema -- con cuatro variables independientes: P_1 , V_1 , P_2 y V_2 . Al -- quitar la restricción X_2 (que la pared sea adiabática), se -- pierda un grado de libertad: se establece un flujo de calor y el nuevo estado de equilibrio final se puede caracterizar-- con sólo tres variables como se puede inferir de la ecuación 1.1 que describe el estado final de este sistema. El siste-- ma pasó de un estado de menor entropía a un estado de mayor-- entropía.

Entonces al aumentar la entropía se reduce el número de gra--

dos de libertad producto de que se están quitando restricciones al sistema. Por otro lado, al quitar una restricción, - el sistema transfiere energía; en los ejemplos citados, la - transferencia de energía se realizó a través de trabajo mecánico (péndulo simple) y de calor (gas aislado). Por el contrario, para imponer restricciones a un sistema con objeto - de llevarlo a una nueva situación de equilibrio (o sea, disminuirle su entropía), se requiere necesariamente trabajo. - Es claro pues que existe una relación unívoca entre los conceptos entropía, restricción, grado de libertad y transferencia de energía. Como se verá, estas ideas son esenciales para comprender la segunda ley y el desarrollo que sigue.

La segunda ley de la Termodinámica establece que cualquier - proceso espontáneo que suceda dentro de un sistema aislado - provoca que la entropía del sistema permanezca igual o aumente. Matemáticamente se expresa como:

$$dS_{\text{aislado}} > 0$$

(1.4)

Así enunciada, dicha segunda ley se conoce como "el principio del incremento de la entropía". En la expresión 1.4 la igualdad se presenta cuando los procesos termodinámicos dentro del sistema son reversibles o ideales, y la desigualdad cuando estos son irreversibles o reales. Dado que podemos encerrar cualquier proceso real en una porción del universo,

esencialmente aislado del resto, esta ley establece que los procesos en el mundo real se dan de tal modo que constantemente se tiende al equilibrio termodinámico con cada vez menos restricciones. Otra expresión matemática del principio del incremento de la entropía, donde vemos cómo se cuantifica dicha magnitud, es la siguiente:

$$dS_{\text{universo}} \geq \frac{dQ}{T} \quad (1.5)$$

Aquí la igualdad y la desigualdad se cumplen respectivamente de manera análoga a la que se señaló arriba. Obsérvese que para un proceso reversible el cambio de entropía se define como:

$$dS = \frac{dQ}{T} \text{ rev.}$$

lo cual nos será de gran utilidad en la aproximación del cálculo de la entropía de los procesos reales.

Resulta claro que la expresión 1.5 impone dirección a los procesos naturales, ya que estos sólo se deberán llevar a cabo si $dS > \frac{dQ}{T}$.

La segunda ley de la termodinámica también se puede expresar a través de los enunciados de Clausius y de Kelvin-Planck, que respectivamente establecen:

"Es imposible construir un aparato que funcione según un ciclo cerrado y cuyo único efecto sea el de transferir calor - de un cuerpo frío a un cuerpo más caliente".

"Es imposible construir un aparato que funcione según un ciclo cerrado y cuyo único efecto sea el producir trabajo e intercambiar calor con un reservorio de calor⁰".

En este último enunciado vemos que la segunda ley se opone rotundamente a la transformación en trabajo del calor extraído de, por ejemplo; un océano o del medio externo que nos rodea.

Una vez hecho este repaso de las leyes de la termodinámica, trataremos brevemente el concepto de variable de estado y su utilidad. La temperatura (T), la energía interna (U) y la entropía (S), introducidas respectivamente por las leyes cero, primera y segunda de la termodinámica, son variables de estado o funciones de punto, porque sus valores con respecto a un punto inicial (en el espacio termodinámico) sólo van a depender del punto final y no de la trayectoria. En la figura 1.4 se ilustra el concepto de variable de estado para la energía interna.

0 - Un reservorio de calor es un cuerpo que tiene una masa tan grande -- que puede absorber o ceder una cantidad ilimitada de calor sin sufrir un apreciable cambio en la temperatura o en cualquier otra coordenada termodinámica.

Para todas las trayectorias el cambio de energía interna es el mismo:

$$U_f - U_i$$

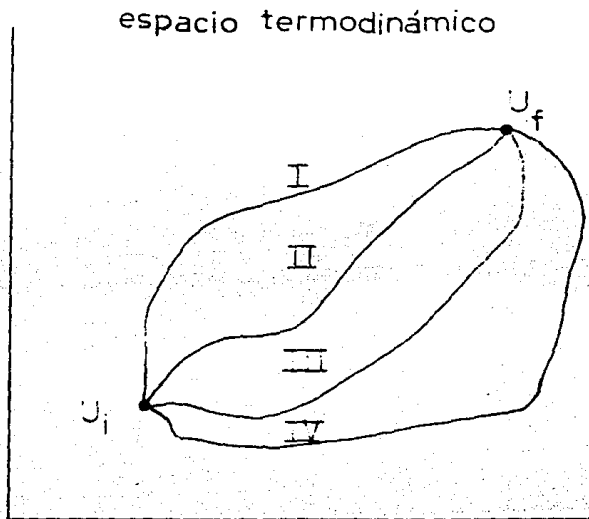


Figura 1.4

Matemáticamente, esto significa que la integral cíclica de una variable de estado X es $\oint dx = 0$; es decir, que una sustancia de trabajo (como el freno, por ejemplo) que opera en un ciclo (el estado final coincide con el estado inicial) posee variables de estado que no cambian ($U_i = U_f$, $S_i = S_f$, $T_i = T_f$). Lo anterior justifica la expresión 1.3.

Esta propiedad que tienen las variables de estado (que también son el volumen (V), la presión (P), el calor específico (CP), etc.) nos permite aproximar, a través de procesos reversibles, los cambios en un sistema termodinámico, que su-

fren en un proceso real aquellas variables de estado que en la práctica no se pueden cuantificar directamente (por ejemplo, la entropía, la energía interna) para lo cual sólo es necesario saber las condiciones iniciales y finales de una cantidad mínima de variables de estado que determinan el sistema termodinámico y que son fácilmente medibles y, por supuesto, la ecuación de estado del sistema que sufre el proceso y cuya existencia nos asegura la ley cero(5). Por el contrario, variables físicas de gran interés para esta tesis como el calor y el trabajo no son funciones de punto y sus valores dependen específicamente de la trayectoria recorrida. Los valores de tales variables en un proceso real también son estimados mediante algún proceso equivalente reversible; pero, además de todo lo que se requiere para el cálculo de los cambios de las variables de estado mencionadas anteriormente es necesario definir muy bien la trayectoria del proceso.

1.3 Calidad Termodinámica de la Energía y Eficiencia de la Primera Ley(14)

Para tratar este tema, conviene empezar por un problema de ingeniería. Dado cualquier sistema Z en equilibrio termodinámico con sus alrededores, ambos a una temperatura T_0 , ¿Cuál es la cantidad mínima de trabajo que hay que invertir para bajar la temperatura del sistema Z , de T_0 a T_1 ? Nótese que el proceso por realizar equivale a llevar el sistema Z a

un nuevo equilibrio final, condición que podemos lograr al introducir una pared adiabática entre el sistema Z y el medio externo una vez que se haya alcanzado en Z la temperatura $T_1 < T_0$.

Supongamos que para bajar la temperatura de Z , de T_0 a T_1 , empleamos un refrigerador, el cual consigue tal disminución después de varios ciclos. Al término de estos, se habrá extraído del sistema sujeto a enfriamiento, una cierta cantidad de energía en forma de calor, que llamaremos Q . Para ello, se ha efectuado una cantidad de trabajo W (ver fig 1.5)

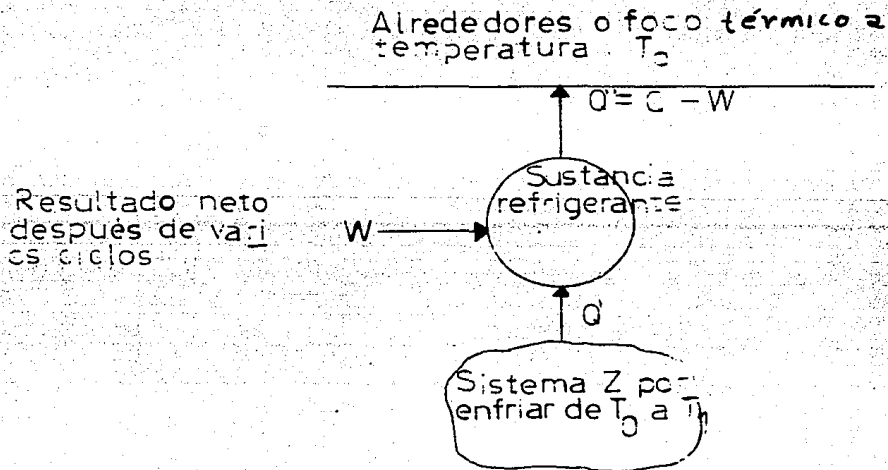


Figura 1.5

Entonces, la respuesta a este problema se puede obtener del principio del incremento de la entropía, mediante las siguientes fórmulas:

$$\Delta S_{sist.} = S_1 - S_0$$

$$\Delta S_{sus.refrig.} = 0$$

$$\Delta S_{foco} = \frac{Q''}{T_0} = \frac{Q' + W}{T_0}$$

Con base en la expresión 1.4:

$$\Delta S_{sist.} + \Delta S_{sus.refrig.} + \Delta S_{foco} \geq 0$$

$$\Rightarrow S_1 - S_0 + \frac{Q' + W}{T_0} \geq 0$$

$$\Rightarrow W \geq T_0 (S_0 - S_1) - Q'$$

$$\Rightarrow W_{min.} = T_0 (S_0 - S_1) - Q' \quad (1.6)$$

S_0 y S_1 se obtienen de tablas para el sistema Z de que se trate conociendo las condiciones termodinámicas (T , P , etc.) -- iniciales y finales de Z, y con la fórmula 1.6 se logra una primera aproximación al cálculo del costo energético de "re-

frigerar".

Consideremos ahora un problema inverso. Dado un sistema Z - con temperatura elevada T_2 , separado de sus alrededores A_0 - que tienen una temperatura $T_0 < T_2$ - por una pared adiabática (ver fig 1.6), al quitar la restricción de dicha pared -- ¿Cuál es la máxima cantidad de trabajo W que se puede obtener durante el proceso de homogeneización.

Si el sistema Z es finito (o sea, no es un foco calorífico) - podemos lograr mantener su temperatura T_2 mediante la "quemada" de algún combustible; así, las salidas de calor de dicho sistema se pueden representar como provenientes de un foco - caliente a la misma temperatura T_2 . Por otro lado, podemos considerar A_0 como un foco "frío" en el cual va a fluir calor.

Se sabe, partiendo del teorema de Carnot, que ninguna máquina que opere entre dos focos con distinta temperatura, reversible o no, tendrá mayor eficiencia que una máquina de Carnot. Por tanto, si Q es la cantidad de calor que puede pasar del foco caliente al frío (ver fig 1.7), la mayor cantidad de trabajo se obtiene de la siguiente manera:

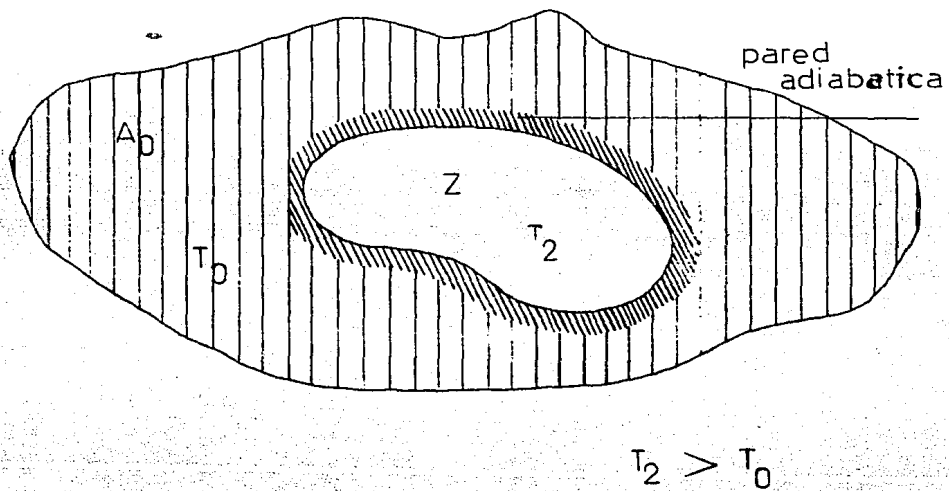


Figura 1.6

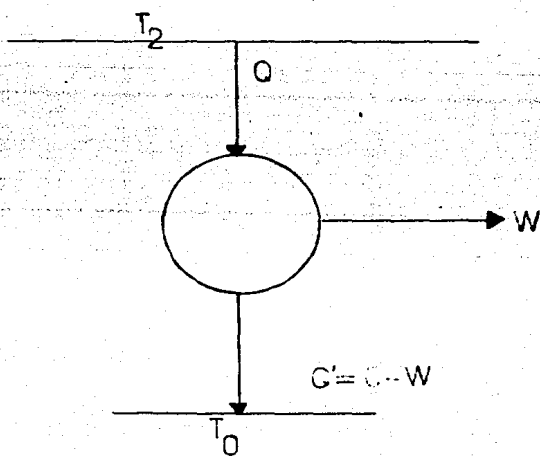


Figura 1.7

La eficiencia para una máquina térmica, como es la de Carnot, se define como

$$\eta = \frac{W}{Q} = \frac{\text{trabajo producido por la máquina}}{\text{calor de entrada}} \quad (1.7)$$

$$\eta_R = \frac{W}{Q} = \frac{Q - Q'}{Q} = 1 - \frac{Q'}{Q}$$

Para el ciclo de Carnot que se muestra en la fig 1.7, se puede demostrar que

$$\begin{aligned} \frac{Q'}{Q} &= \frac{T_0}{T_2} \\ \implies \frac{W}{Q} &= 1 - \frac{T_0}{T_2} \\ \implies W_{R_{\text{máx}}} &= Q \left(1 - \frac{T_0}{T_2} \right) \quad (1.8) \end{aligned}$$

En la expresión 1.8 vemos claramente, sin referirnos a la segunda ley de la termodinámica, que ya el teorema de Carnot restringe la conversión total de calor a una cantidad equivalente de trabajo W . Obsérvese también que para que exista un flujo de calor debe existir necesariamente un contraste térmico; o sea, dos focos térmicos con distintas temperaturas. De esto último se infiere que la energía que se encuentra

1 - El subíndice R recuerda que el ciclo de Carnot es reversible.

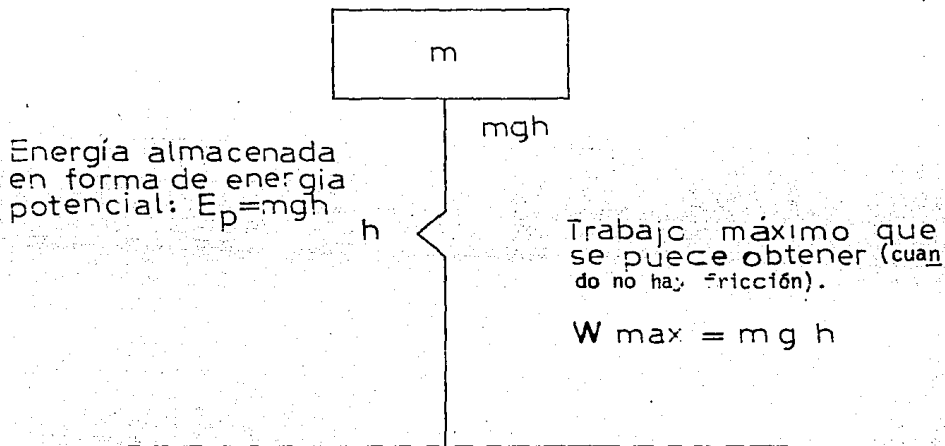


Figura 1.8

tra en nuestros alrededores a temperatura T_c —es decir, que no involucra contraste térmico y sólo se puede extraer en forma de calor— se halla en un estado tal que es completamente inútil para la obtención de trabajo.

Por lo contrario, la energía potencial de un sistema mecánico sin rozamiento —por ejemplo, un peso levantado a cierta altura h , como el que se representa en la fig 1.8— se encuentra en una forma completamente utilizable para obtener trabajo. Si tomamos la temperatura de los alrededores como una temperatura fija T_0 , de la expresión 1.8 podemos deducir que, cuando el calor del foco caliente se transfiere a una temperatura $T_2 \rightarrow \infty$, Q tiende a convertirse íntegramente en

trabajo. Por ello diremos que calor a temperatura infinita es equivalente a trabajo.

De lo anterior se infiere que las distintas formas de energía se pueden diferenciar de acuerdo con su capacidad para desarrollar trabajo o convertirse en él; a dicha capacidad la denominaremos CALIDAD TERMODINAMICA DE LA ENERGIA. Así, calor a temperatura $T_1 > T_0$ tiene menor calidad termodinámica que calor a temperatura $T_2 > T_1$, y este último a su vez posee menor calidad termodinámica, en principio, que la energía almacenada en un cuerpo elevado a cierta altura h .

Ahora haremos hincapié en la expresión 1.7 para introducir la eficiencia de la primera ley de la termodinámica. En tal expresión, definimos como $\eta = W/Q$ a la eficiencia de una máquina térmica que opera entre dos focos térmicos. En la práctica, el calor Q es la energía que "cuesta" y es suministrada por la "quemada" de algún combustible, generalmente a una temperatura alta, mientras que W es el trabajo producido por la máquina alimentada con el calor Q ; de tal modo que se considera que $Q - W = Q'$ es el calor "desperdiciado". Teniendo por seguro que la energía se conserva, definimos de manera más general la eficiencia de un dispositivo como

$$\eta_{1ra. ley} = \frac{\text{energía útil}}{\text{Entrada de energía}} \quad (1.9)$$

Dicha eficiencia, puesto que pregona la conservación de la energía, se suele denominar eficiencia de la primera ley de la termodinámica. También se conoce como eficiencia de dispositivo, en virtud de que mide el efecto energético útil -- que produce un dispositivo a partir de una entrada de energía.

1.4 Principio de Degradación de la Energía

Los procesos reales de conversión de energía se llevan a cabo con efectos de fricción o en presencia de contrastes térmicos finitos, hechos que dan lugar a que se transfiera calor. En la naturaleza se aprecia que esta energía en forma de calor se cede siempre a un foco, el más frío posible, y queda entonces en un estado de inutilidad para su reconversión en trabajo. Por tanto, podemos señalar que la energía se transforma en la dirección en que se degrada. Así, aunque se conserva, hay "algo" en la energía que se "consume": la capacidad para hacer trabajo.

Dado que los procesos reales son irreversibles, cabe la sospecha de que la pérdida de la capacidad para hacer trabajo -- guarde relación con los cambios de entropía subyacentes; es decir, que el principio de degradación de la energía esté relacionado con el principio del incremento de la entropía.

Antes de mostrar la conexión general entre ambos principios, veamos un ejemplo: la conducción irreversible de calor por un gradiente finito de temperatura, entre un foco caliente y uno frío. Supongamos que los focos, cuyas temperaturas respectivas son T_1 y T_0 , estén conectados por una barra en la que se establece un gradiente de temperaturas (fig 1.9)

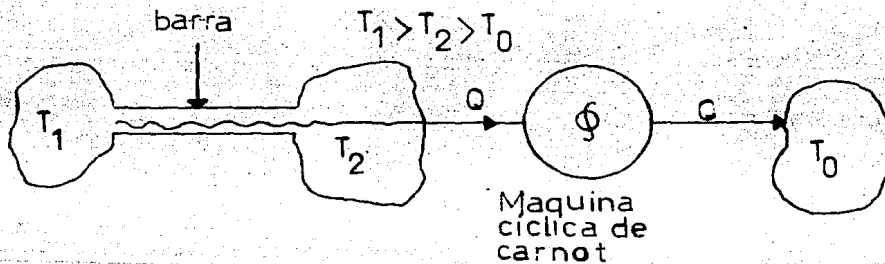


Figura 1.9

Después de la conducción de calor a través de la barra, se tiene una cantidad de energía calorífica que es capaz de llegar al foco más frío T_0 , y que puede aportar según la expresión 1.8 el trabajo máximo

$$W \text{ máx con barra} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_2} \right)$$

Si no existiese la barra el trabajo máximo aportado por Q sería

$$W \text{ máx sin barra} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right)$$

Ambos trabajos máximos son distintos; su diferencia la denotaremos como ΔEx . Así,

$$\Delta Ex = W \text{ máx sin barra} - W \text{ máx con barra} = T_0 \left(\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1} \right) \quad (1.10)$$

Pero
$$\left(\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1} \right) = \Delta S \text{ univ};$$

ya que haciendo un análisis para la entropía del sistema descrito en la fig 1.9 se tiene que

$$\Delta S \text{ univ.} = \left(-\frac{Q}{T_1} + \frac{Q}{T_2} \right) \text{ irreversible} + \left(-\frac{Q}{T_2} + \frac{Q'}{T_0} \right) \text{ reversible} > 0$$

Sin embargo, $\left(-\frac{Q}{T_2} + \frac{Q'}{T_0} \right)$ es el cambio de entropía para una máquina reversible de Carnot que opera entre los focos T_2 y T_0 ; por tanto, puesto que para un proceso reversible el cambio de entropía es cero se tiene que:

$$\left(-\frac{Q}{T_2} + \frac{Q'}{T_0}\right) = 0,$$

$$\Rightarrow \Delta S_{\text{univ.}} = -\frac{Q}{T_1} + \frac{Q}{T_2}$$

$$\therefore \Delta Ex = T_0 \Delta S_{\text{univ.}} \quad (1.11)$$

De la ecuación 1.10 se deduce que ΔEx nos da la pérdida de la capacidad de Q para producir trabajo producto de la irreversibilidad que impuso el gradiente de temperaturas en la barra en el proceso descrito.

Por otro lado, la ecuación 1.11 expresa un caso particular de la siguiente afirmación, que formula el principio de degradación de la energía:

Siempre que ocurre un proceso irreversible, su efecto sobre el universo es igual al que se produciría si cierta cantidad de energía completamente utilizable para la obtención de trabajo se convirtiese en otra totalmente inadecuada para convertirse en trabajo. Esta cantidad de energía utilizable -- que se pierde es T_0 veces mayor que el cambio de entropía -- del universo que se produce como consecuencia del proceso -- irreversible.

Ahora bien, puesto que la segunda ley de la termodinámica -- impone la irreversibilidad de los procesos, el principio de degradación de la energía se sigue automáticamente. La energía disponible para hacer trabajo será cada vez menor, a menos que continuamente se esté elevando la calidad de la energía, como sucede en la tierra gracias a la acción solar. -- Tratándose de un sistema cerrado, en cuyo interior suceden procesos irreversibles, a la par que disminuye su capacidad para realizar trabajo sobre el exterior y aún de unas partes sobre otras, aumenta su entropía. Cuando ésta llega a su valor máximo, estamos en el equilibrio termodinámico, y la energía disponible para realizar trabajo ha desaparecido; se ha consumido.

En el subcapítulo siguiente nos proponemos sistematizar el concepto de exergía y establecer, a partir de dicho concepto, el principio de degradación de la energía y la eficiencia de la segunda ley de la termodinámica.

1.5 La Exergía

Hacia 1800, Lázaro Carnot (padre de Sadi Carnot) había observado que una máquina produciría suficiente trabajo para regresar todo el fluido que trabaja a la fuente elevada si ese trabajo fuera usado en una bomba perfecta. Es decir, que el requerimiento mínimo para elevar agua de un nivel inferior a

uno superior es que un peso igual sea bajado del nivel superior al nivel inferior. Más aún, se necesita emplear una -- cantidad mayor que este mínimo si cualquier parte del meca-- nismo no funciona perfectamente. Se trata, pues, de cumplir la tarea de elevar un peso (trabajo contra la fuerza gravita-- toria) con una fuente apropiada de energía (bajada de un pe-- so equivalente, es decir, entrega de energía por el campo -- gravitatorio); cuando esto se cumple perfectamente, la efi-- ciencia del proceso será del cien por ciento.

Estas observaciones -como a continuación se verá- son genera-- lizadas por las leyes de la termodinámica. Así, se demostra-- rá que se requiere una cantidad mínima de trabajo para reali-- zar cualquier tarea física cuando ésta se desarrolla rever-- siblemente dentro de un ambiente A_0 , el cual se halla esen-- cialmente en un estado de equilibrio estable. La tarea pue-- de ser tan sencilla como la elevación de un peso, o tan com-- plexa como el funcionamiento de una nación.

Asociado entonces con cada estado de un sistema, habrá una - cantidad de trabajo que es el mínimo requerido para crear el sistema en ese estado a partir de los materiales del alrede-- dor A_0 . Esta cantidad mínima es también igual a la máxima - cantidad de trabajo útil que puede ser realizado por el sis-- tema, cuando éste entra en un proceso de homogeneización con A_0 . En páginas anteriores hemos enunciado estos conceptos -

de otra manera, completamente equivalente. Por ejemplo, en el problema con el cual iniciamos este análisis vimos que, para obtener un sistema térmicamente contrastado con sus alrededores, se necesita realizar una cantidad mínima de trabajo, dada por la expresión 1.6, si el proceso se realiza en forma reversible. Inversamente, cuando tenemos la situación de contraste térmico entre el sistema Z y los alrededores, la cantidad máxima que se puede extraer en la homogeneización entre Z y A_0 es igual al trabajo mínimo anterior, si el proceso nuevamente es reversible. Para ver esto sólo hay que hacer que el dispositivo de la fig 1.5 opere inversamente; lo cual equivale a cambiar la dirección de las flechas que se muestran en dicha figura. A esta cantidad de trabajo mínimo que se utilizó para crear el contraste térmico, que además es la misma cantidad de trabajo máximo que se aporta en la aniquilación del contraste, se le llama EXERGIA.

Así entonces se puede hablar de la exergía para crear cualquier contraste termodinámico, lo cual implica disminuir la entropía del sistema sobre el que se está operando; o bien, inversamente se puede hablar de la exergía que aporta cualquier contraste termodinámico producto del aumento de la entropía del sistema que sufre un proceso de homogeneización termodinámica.

A fin de sistematizar el concepto de exergía y formalizar el

principio de degradación de la energía, consideremos el siguiente desarrollo.

Sea un sistema Z inmerso en un alrededor A_0 , al cual se supone homogéneo y grande en comparación con Z (fig 1.10).

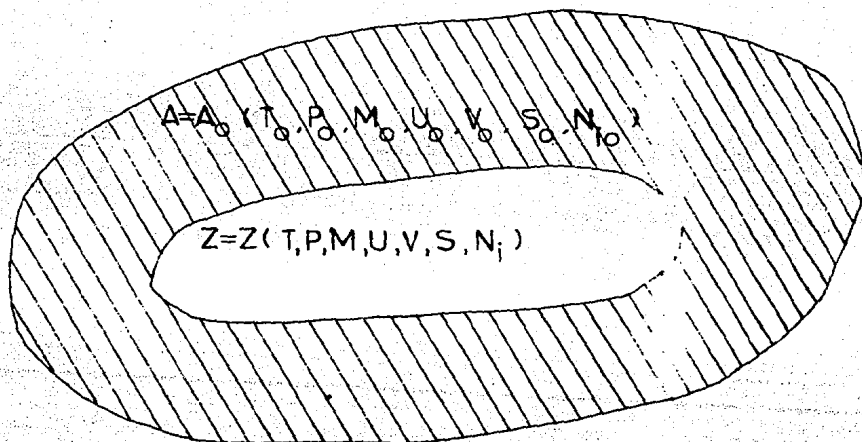


Figura 1.10

El sistema Z se caracteriza por sus parámetros o variables termodinámicas intensivas T (temperatura), P (presión), M (potenciales químicos), y por sus variables extensivas v

(energía interna), V (volumen), S (entropía), N_i (número de moles de la componente química i). Una caracterización semejante vale para A_0 .

Suponemos que el mayor "tamaño" de A_0 respecto de Z se refleja en que las variables extensivas de A_0 son mucho mayores - que las de Z

$$U \ll U_0, \quad V \ll V_0, \quad N_i \ll N_{i_0} \quad (1.12)$$

Consideremos el sistema complejo $Z + A_0$ aislado del exterior, excepto por el hecho de que se puede efectuar trabajo por o sobre Z . Entonces, cualquier proceso reversible al interior de $Z + A_0$ debe satisfacer

$$dQ = dU + dU_0 + dW = 0 \quad (1.13)$$

$$dV + dV_0 = 0 \quad (1.14)$$

$$dN_i + dN_{i_0} = 0 \quad (1.15)$$

La interacción de Z y A_0 puede ocurrir de una manera controlada a través de la frontera de Z . Puesto que Z es pequeña (ec 1.12), dicha interacción no cambia notablemente los parámetros intensivos de A_0 ; por tanto,

$$dT_0 = 0 \Rightarrow T_0 = \text{cte.} \quad (1.16)$$

$$dP_0 = 0 \Rightarrow P_0 = \text{cte.} \quad (1.17)$$

$$dM_0 = 0 \Rightarrow M_0 = \text{cte.} \quad (1.18)$$

Con base en las expresiones diferenciales de la primera y segunda leyes de la termodinámica, para el sistema A_0 tenemos

$$dQ_0 = T_0 dS_0 = dU_0 + \delta W \quad (1.19)$$

Si suponemos que el trabajo por o sobre A_0 es trabajo volumétrico ($P_0 dV_0$) y trabajo químico ($-\sum M_{i_0} dN_{i_0}$), la expresión se convierte en

$$\begin{aligned} T_0 dS_0 &= dU_0 + P_0 dV_0 - \sum M_{i_0} dN_{i_0} \\ \Rightarrow dS_0 &= \frac{1}{T_0} (dU_0 + P_0 dV_0 - \sum M_{i_0} dN_{i_0}) \quad (1.20) \end{aligned}$$

Haciendo uso de las ecuaciones 1.12, 1.13 y 1.14 a la expresión 1.20 la podemos expresar como

$$dS_0 = -\frac{1}{T_0} (dU + P_0 dV - \sum M_{i_0} dN_{i_0}) - \frac{\delta W}{T_0} \quad (1.21)$$

Puesto que la entropía es una variable extensiva y -por tanto- aditiva, la diferencial total de la entropía será

$$dS_{total} = dS_{A_0} + dS_{dist.} = dS_0 + dS$$

Al sustituir en la expresión 1.21, se obtiene

$$dS_{total} = -\frac{1}{T_0} (dU + P_0 dV - T_0 dS - \sum_{i_0} dN_i) - \frac{dW}{T_0} \quad (1.22)$$

Si definimos a la exergía como

$$Ex = U + P_0 V - T_0 S - \sum_{i_0} N_i \mu_{i_0} \quad (1.23)$$

haciendo uso de las ecuaciones 1.16, 1.17 y 1.18, se tiene

$$dEx = dU + P_0 dV - T_0 dS - \sum_{i_0} dN_i \mu_{i_0} \quad (1.24)$$

Por tanto, podemos describir la ecuación 1.22 así

$$dS_{total} = -\frac{1}{T_0} (dEx + \frac{dW}{T_0}) \quad (1.25)$$

Entonces, la expresión 1.23 nos define la exergía, función - que en primera instancia puede ser calculada para cualquier sistema. Asimismo, en la ecuación 1.23 es fácil ver la conexión entre Ex y la entropía del sistema Z. Con energía interna, volumen y composición química constantes en Z, Ex decrece y la entropía aumenta; para estados de baja entropía, Ex se incrementa. Ya en la ecuación 1.25 vemos que, si se lleva a cabo un proceso reversible como se ha supuesto en to

do este desarrollo, de la segunda ley de la termodinámica, - se tiene que

$$dS_{total} = \frac{dq_{rev}}{T} = 0$$

$$\Rightarrow dS_{tot.} = - \frac{1}{T_0} (dW + dEx) = 0$$

$$\Rightarrow dW = - dEx$$

$$\Rightarrow {}_iW_f = - (0 - Ex) \quad \therefore \quad Ex = {}_iW_f \text{ máximo} \quad (1.26)$$

O sea que la exergía definida en la expresión 1.23 se puede interpretar como la función termodinámica que mide el máximo trabajo obtenible o el mínimo trabajo por realizar, según se haga el trabajo por o sobre el sistema. Este máximo o mínimo trabajo se obtiene o se da sólo cuando los procesos involucrados son reversibles.

Por el contrario, imaginemos que los procesos fuesen irreversibles; para este caso, se tendría

$$dS_{tot} > 0$$

$$\Rightarrow dS_{tot} = - \frac{1}{T_0} (dW + dEx) > 0$$

$$\Rightarrow dW + dEx = -T_0 dS_{total} < 0 \quad (1.27)$$

Integrando

$$i^W_f - Ex = -T_0 \Delta S_{total}$$

$$\Rightarrow Ex = i^W_f + T_0 \Delta S_{total} \quad (1.28)$$

Es decir, parte de la energía se desaprovecha, debido a la irreversibilidad, en la cantidad $T_0 \Delta S_{tot}$. Entonces, la ecuación 1.28 expresa el principio de degradación de la energía mencionada anteriormente.

Por otro lado, es fácil ver que cuando se alcanza la homogeneización entre A_0 y L la exergía se anula. Para que esto sea claro substituyemos la ecuación fundamental de la termodinámica(6):

$$u = TS - PV + \sum_i N_i \mu_i$$

en la ecuación 1.23. Haciendo esto se obtiene:

$$Ex = S(T - T_0) - V(P - P_0) + \sum_i N_i (\mu_i - \mu_{i_0})$$

Entonces si las variables intensivas del sistema tienden respectivamente a los valores de los alrededores ($T \rightarrow T_0$, ---

$P \rightarrow P_0, M_i \rightarrow M_{i_0}$) la exergía tiende a anularse ($Ex \rightarrow 0$).

El concepto de exergía nos lleva directamente a definir un nuevo criterio de eficiencia que toma en cuenta las irreversibilidades de los procesos reales, pues ahora, se tiene la oportunidad de saber que tan reversible es un proceso real - al comparar la exergía que se consume (*Ex actual*) en la vida real para satisfacer una tarea demandante de energía con la exergía que se ocuparía (*Ex mínima*) si dicha tarea se satisficiera reversiblemente. Así entonces definimos a esta eficiencia como:

$$E = \frac{Ex \text{ (mínima)}}{Ex \text{ (actual)}}$$

Y la denominaremos "eficiencia de segunda ley" debido a que incorpora explícitamente la segunda ley de la termodinámica como se ha podido ver en el desarrollo de este capítulo. -- También, por razones obvias, se denomina como "eficiencia de proceso o tarea".

En el siguiente capítulo se hará una comparación entre las eficiencias de primera y segunda ley para medir el derroche energético y observaremos las enormes bondades de la segunda eficiencia sobre la primera. Asimismo se podrá notar como a partir de los conceptos tratados en este capítulo se pueden desarrollar metodologías para precisar las necesidades ener-

géticas de un país.

Por último, es de interés saber cual es la exergía de un combustible como el carbón, el gas, etc., para esto consideremos que nuestro sistema Z representa un combustible y sometámoslo a un proceso adiabático reversible en la que el número de moles se mantenga constante, por tanto $dS_{tot} = dS_{sist} = dN_i = 0$, y las ecuaciones 1.28 y 1.24 se reducen respectivamente a:

$$Ex = iW_f$$

$$dEx = dU + P_0 dV \Rightarrow Ex = U + P_0 V = H_0$$

Esta última expresión coincide con la entalpía de un combustible-contenido calorífico de un combustible- si esta se libera a presión constante igual a P_0 (la del medio ambiente).

2. METODOLOGIAS DEL ESTUDIO DEL USO FINAL DE LA ENERGIA

2.1 *Introducción*

Muchas y muy variadas son las tareas específicas que se deben desarrollar en un país para mantener la sobrevivencia de su población y para garantizarle a ésta un determinado nivel medio de vida y en todas estas tareas se consume energía. -- Así entonces, el fin último de la energía es la de satisfacer este conglomerado de tareas que definen, mantienen y dan continuidad a una sociedad. Por lo tanto, es claro ver que, un análisis energético realista debe empezar en el punto en el que la energía es directamente consumida para calentar -- agua, accionar automóviles y camiones; operar aparatos eléctricos, etc., a dicho punto le denominaremos el uso final de la energía.

En este capítulo sistematizaremos en lo posible métodos de estudio del uso final de la energía; sin embargo, antes de hacer esto, será de gran utilidad caracterizar la estructura del sistema energético mexicano tal y como hasta ahora se le sistematiza a fin de apreciar en donde encajar las metodologías de estudio que nos disponemos desarrollar.

2.2 La Estructura del Sistema Energético Mexicano

La estructura del sistema energético mexicano es la siguiente (18):

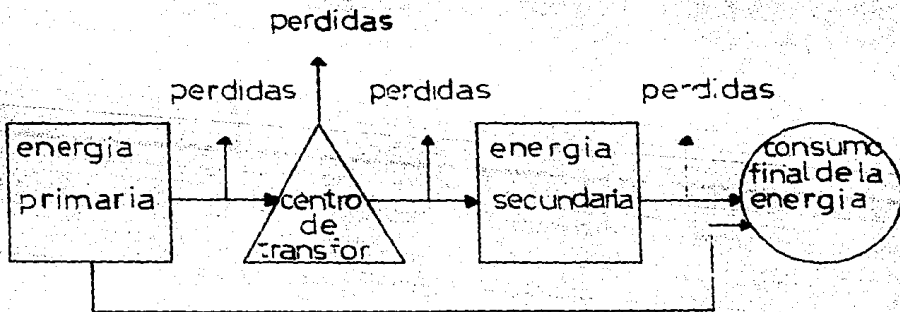


Figura 2.1. Estructura del Sistema Energético Mexicano

LAS FUENTES DE ENERGIA PRIMARIA DE MEXICO: El primer cuadro representa la entrada de energía al sistema energético, y está integrada por las fuentes de energía propias del país - que se encuentran en su estado natural. Estas fuentes de -- energía primaria son:

TABLA 2.1. LAS FUENTES PRIMARIAS DEL SISTEMA ENERGETICO MEXICANO

Hidrocarburos
 Carbón
 Energía geotérmica
 Energía hidráulica
 Biomasa

CENTROS DE TRANSFORMACION DE ENERGIA: El triángulo representa los centros de conversión de la energía primaria. Esta - conversión tiene por objeto hacer más fácil el transporte y - utilización de la energía.

En México los centros de transformación son:

TABLA 2.2. CENTROS DE CONVERSION DE LA ENERGIA

Refinerías y despuntadoras
 Plantas de gas y fraccionadoras
 Centrales eléctricas
 Coquizadoras

ENERGIA SECUNDARIA: El segundo cuadrado representa a los --

energéticos, producto de la transformación de los energéticos primarios y se denominan energéticos secundarios. Estos energéticos ya se encuentran "aptos" para ser consumidos. - En México los energéticos secundarios de uso se muestran en la Tabla 2.3.

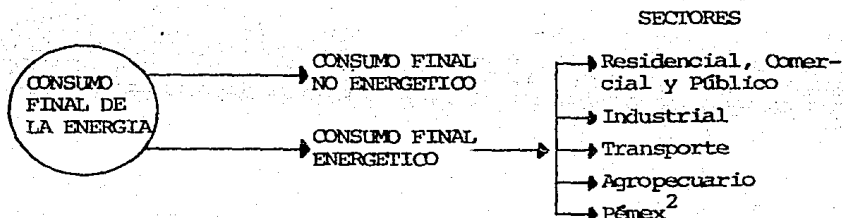
TABLA 2.3. ENERGETICOS SECUNDARIOS DE CONSUMO EN MEXICO

Coque
 Gas L.P.
 Combustóleo
 Kerosinas
 Gasolina
 Diesel
 Gas*
 Productos no energéticos
 Electricidad

* Incluye gas no asociado, gas residual y gas seco.

CONSUMO FINAL DE LA ENERGIA: Finalmente, el círculo representa el destino final en donde la energía es consumida. Nó tase que a el consumo final llegan no tan sólo energéticos secundarios sino también energía primaria, ésta última constituida por biomasa. Al consumo final se le divide a su vez en consumo final no energético y en consumo final energético. Lo anterior se ilustra en la Tabla 2.4.

TABLA 2.4. DESAGREGACION ACTUAL DEL CONSUMO FINAL DE LA ENERGIA



Es decir, la sistematización del estudio de la estructura energética mexicana se detiene hasta aquí dejándonos en un modo tal que es imposible ver en realidad para qué se consume la energía dentro de los sectores energéticos. Siendo es to así, no es fácil determinar las verdaderas necesidades energéticas del país y esto redundará en que cualquier ejercicio dado de planeación energética se elabore con bases poco sólidas. Entonces, hasta lo ahora analizado, todos los sectores energéticos aparecen como extrañas cajas negras a las cuales se les suministra energía y ellas hacen funcionar todo el sistema mexicano. Ellas simplemente piden energía y nosotros no sabemos si les estamos dando más de la necesaria; y peor aún, todavía no sabemos cuáles son los energéticos --

2 - Se aclarará posteriormente que parte de la metodología en este trabajo es considerar al autoconsumo propio de Pémex como un sector más de consumo de energía. Otros consumos del sector energético, como el consumo del sector eléctrico, no se consideran por ser marginales respecto al consumo de Pémex.

más "apropiados" por desarrollar en el momento en que se agoten las actuales fuentes de energía.

Así pues, una primera tarea es escudriñar a las cajas negras por dentro o que es lo mismo, investigar cual es el uso final de la energía; pero para hacerlo es necesario establecer metodologías de este tipo de estudios; las cuales nos proponemos desarrollar en las siguientes secciones.

Por último, antes de cerrar la presente sección, obsérvese - de la figura 2.1, que en el largo camino que transita la energía para llegar al consumo final existen diversas "fugas" o pérdidas de energía que hacen al sistema energéticamente sumamente ineficiente. El análisis de lo anterior se verá con posterioridad.

2.3 El Uso Final de la Energía Basado en los Análisis Exergéticos de las Tareas Específicas

Conocidas de antemano todas las tareas demandantes de energía en un país -lo cual es posible- es factible determinar la exergía que requiere cada tarea para su realización, esto implica, por supuesto, entrar en la consideración de que la tarea es realizada reversiblemente.

Para aquellas tareas que impliquen la creación de un sistema

contrastado termodinámicamente con respecto a sus alrededores, el cálculo de la exergía se reduce -y es más simple hacerlo así- a conocer la exergía en el proceso de homogeneización del sistema, una vez creado, con sus alrededores. Esto se ilustra en la fig 2.2. Como ejemplo, consideremos la tarea "calentamiento de agua para bañarse". Entonces necesita

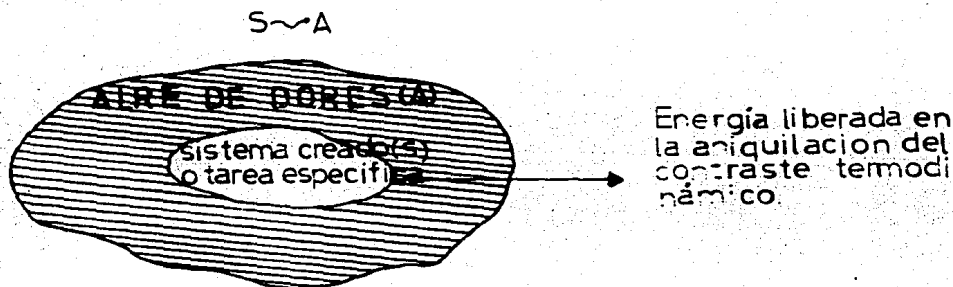


Figura 2.2. Exergía de la tarea específica

mos agua a 30°C (303°K), si ahora suponemos que los alrededores, constituidos por el cuarto del baño, se encuentran a 15°C (288°K) podemos representar la creación de este sistema como se observa en la fig 2.3. Partiendo de esta situación, el sistema al homogeneizarse térmicamente con sus alrededores

res libera la cantidad de exergía que aparece en el costado-

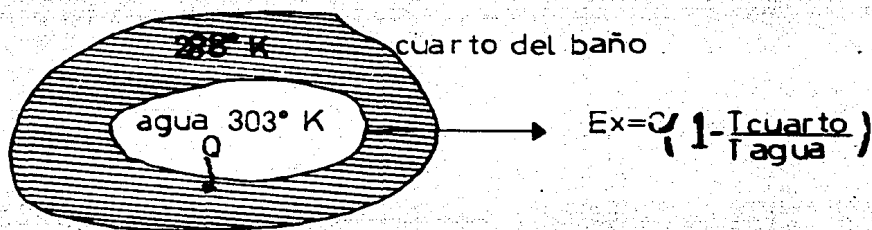


Figura 2.3. Análisis exergético de la tarea Calentamiento de Agua

de la misma figura. Y es esta misma cantidad la exergía que necesitamos para realizar la mencionada tarea.

Cualquier otra tarea que no implique un contraste termodinámico puede ser caracterizada también por su exergía. Por ejemplo, si la tarea consiste en trasladar un cuerpo de masa M a una cierta distancia D , con una aceleración A , la exergía será $Ex = MAD$, etc.

El realizar el análisis exergético de cada una de las tareas específicas demandantes de energía nos lleva a conformar un patrón "absoluto" de las actuales necesidades exergéticas -- del país. Y esto trae consigo varias bondades: a) deja -- ver la posibilidad de efectuar grandes ahorros de energía en el país, b) muestra la calidad necesaria de la energía requerida en la realización de las tareas demandantes de energía y c) establece un criterio para determinar la afinidad de las triadas fuente-tecnología-uso final. Con algunos ejemplos ilustraremos estas aseveraciones:

Consideremos la tarea antes referida: calentamiento de --- agua. La exergía que requiere esta tarea para su efectua--- ción es $Ex = Q(1-t_0/t_1)$, a la cual le llamaremos exergía mínima ($Ex_{m\{n}$); pero actualmente la exergía que se ocupa para realizar dicha tarea es la proveniente de algún combustible (Gas L.P.) y es aproximadamente igual a la entalpía H de éstos. De acuerdo a lo anterior, la eficiencia exergética actual de realización de esta tarea es igual a:

$$n_{Ex} = \frac{Ex_{m\{n}}}{Ex_{actual}} = \frac{Q(1-t_0/t_1)}{H} = Q/H (1-t_0/t_1) = n_{disp.} (1-t_0/t_1)$$

Ahora bien, Q/H es la eficiencia de primera ley de un dispositivo de calentamiento de agua, consideremos que este sea un boiler que tenga una respetable eficiencia, a saber, --- $n_{disp.} = 0.8$, con este valor, y recordando que $t_0 = 288 \text{ K}$ y

$t_1 = 303 \text{ K}$, el valor de n_{ex} es:

$$n_{ex} = 0.8(1 - 288/303) = 0.04$$

Este ejemplo nos muestra que aún teniendo una eficiencia alta de primera ley del dispositivo, la eficiencia exergética de realización de la tarea es bastante baja, lo que implica en principio, un gran potencial de ahorro de exergía y, por tanto de energía.

El análisis exergético de la mencionada tarea, representada en la fig 2.3, pone de manifiesto que la calidad necesaria y suficiente de la energía para realizar la mencionada tarea es calor a 30°C . Así entonces, podemos caracterizar la tarea analizada de la siguiente manera:

Tarea Específica

Calidad de la Energía:
Calor a 30°C .

Calentamiento de
Agua

Cantidad de Exergía
Mínima = $Q(1 - t_0/t_1)$

Para finalizar con los ejemplos, consideremos las siguientes triadas que tienen como elemento común el mismo uso final:

FUENTE	TECNOLOGIA	USO FINAL
(1) Hidrocarburos	Boiler	Calentamiento de Agua
(2) Solar	Colector Solar	Idem.

La eficiencia exergética de la primera triada ya la calculamos y es de $n_{ex(1)} = 0.04$. Para la segunda triada, se tiene que la exergía que es capaz de aportar un colector solar es:

$$Ex_{col.} = Q_2(1-t_0/t_2) ; t_0 = 288^\circ K (15^\circ C), t_2 = 333^\circ K (60^\circ C)$$

misma que podemos considerar hipotéticamente como nuestra -- exergía actual. Por tanto, la eficiencia exergética de la -- segunda triada es:

$$n_{ex(2)} = \frac{Q_1(1-t_0/t_1)}{Q_2(1-t_0/t_2)} = \frac{Q_1}{Q_2} \frac{(1-t_0/t_1)}{(1-t_0/t_2)}$$

Pero Q_1/Q_2 es la eficiencia de dispositivo del colector solar cuyo valor típico es de 0.5. Así entonces:

$$n_{ex(2)} = \frac{0.5 \times 0.05}{0.13} = 0.19$$

Comparando $n_{ex(1)}$ con $n_{ex(2)}$ llegamos a la conclusión de que es más afín entre sí la segunda triada.

Al elaborar los análisis exergéticos de todas las tareas específicas de un país, se podría llegar a conformar arreglos-matriciales como el que a continuación se muestra.

CUADRO 2.1

Sector X Calidades de la Energía

energías mínimas

Si a la vez contáramos con arreglos matriciales que nos informasen de las exergías que actualmente se consumen en el país para satisfacer las tareas, es decir, uno del siguiente tipo.

CUADRO 2.2

Sector X Calidades de la Energía

energías actuales

Entonces podríamos, en primera instancia, calcular la eficiencia exergética global del país, con lo cual tendríamos una perspectiva nacional de que tan eficaz usamos nuestra energía, además de que podríamos tener un criterio de carácter normativo para determinar qué fuentes y tecnologías son las más convenientes (o afines a las tareas específicas) por desarrollar considerando además criterios ecológicos, económicos y sociales.

El llevar a cabo arreglos matriciales como los señalados en los cuadros 2.1 y 2.2 sería, sin duda alguna, la mejor manera de especificar las verdaderas necesidades energéticas del país y de ver cómo actualmente se satisfacen; sin embargo el realizar esto exige un nivel de información bastante preciso que hoy es imposible de obtener en nuestro país. Esto no quiere decir que dicha tarea tenga que ser pospuesta indefinidamente; por el contrario habrá que agilizarla a fin de explotar las bondades, que ya se hicieron ver, de este trabajo.

Dado que la información disponible no nos posibilita establecer el uso final de la energía en términos exergéticos, tenemos que implementar otra metodología que esté en concordancia con la información accesible, pero que deje entrever cuáles son las necesidades energéticas nacionales y cómo actualmente se cubren. Esta metodología basada en los análisis de

primera ley de realización de las tareas específicas la expondremos a continuación.

2.4 El Uso Final de la Energía Basado en los Análisis de -- Primera Ley de la Realización de las Tareas Específicas

Analicemos la realización de la ya tan mencionada tarea "calentamiento de agua"; pero ahora a la luz de un análisis de primera ley. En una ciudad esta tarea se lleva a cabo como se ilustra en la siguiente figura.

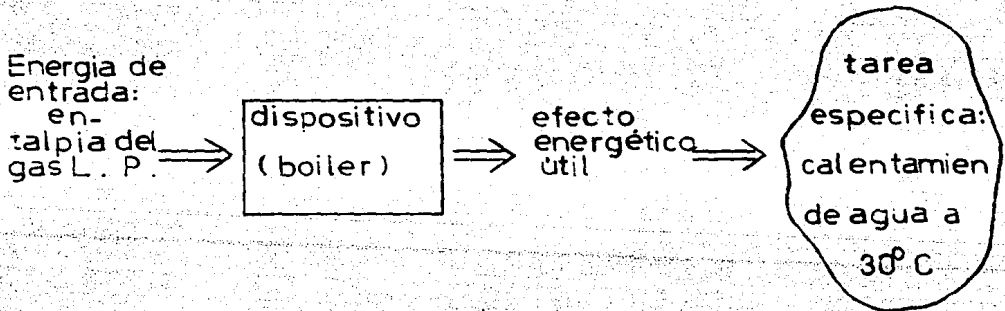


Figura 2.4. Análisis de primera ley de la tarea calentamiento de agua.

El balance de energía de este proceso es:

$$\text{Entalpía del gas L.P.} = \text{Pérdidas} + \text{Calor útil que realiza la tarea "calentamiento de agua a } 30^{\circ}\text{C}''$$

Esta expresión última es de primordial importancia, pues contiene toda la información que inicialmente nos hemos planteado como relevante:

El lado izquierdo de la igualdad nos informa acerca de la -- cantidad de energía que hoy en día se utiliza para satisfacer la tarea. El lado derecho, particularmente el segundo -- sumando, denota la forma y calidad de la energía que realiza la tarea: calor a 30°C , así entonces, podemos caracterizar la tarea analizada de la siguiente manera:

Tarea específica

Forma y Calidad de la Energía:
Calor a 30°C

Calentamiento de
agua

Entalpía de uso actual (contenido
energético del gas L.P.)

Este arreglo muestra dos aspectos interesantes: a) cómo -- actualmente se satisface la tarea y b) la naturaleza de la tarea y por tanto la forma y calidad de la energía para realizarla. Nótese que como la tarea analizada implica un proceso térmico, la calidad del calor se definió de acuerdo a la

temperatura final deseada. Este mismo criterio se utilizará para caracterizar la calidad del calor de toda tarea que implique la realización de un proceso térmico; sin embargo debe destacarse que esta temperatura final en los usos industriales de calor va a coincidir con la temperatura final del método corriente de uso de calor y no con la del proceso requerido, lo que va a redundar en que los calores de uso actual en la industria van a estar sesgados hacia altas temperaturas.

Existen otras tareas de naturaleza distinta a las de la parte superior descritas, como: accionar automóviles, levantar cuerpos pesados, operar tocadiscos, etc., éstas requieren a su vez de formas distintas de energía. Estas formas deben denotar la calidad de la energía y mostrar la naturaleza de la tarea. Así por ejemplo: el accionar un automóvil requiere de la liberación de la entalpía de un combustible que a la vez se esté transportando con el automóvil, lo cual quiere decir, de acuerdo al estado actual de la tecnología automotriz, que el combustible debe ser líquido²: por ejemplo, la gasolina. A los combustibles que tengan características similares a las de la gasolina les denominaremos Líquidos Portables, y por supuesto el que estos sean así estará en función de la tarea por realizar a la cual se les destina. De igual modo, si nuestra tarea es operar un tocadiscos necesitaremos electricidad, con lo cual estaremos diciendo que -

² - En algunos estados del norte del país llega a utilizarse el gas LP. como combustible automotriz, sin embargo, su cantidad la consideramos pequeña respecto al total de combustibles automotrices líquidos.

la tarea es obligatoriamente eléctrica; pero se verá posteriormente que, por ejemplo, aunque la tarea de iluminación es intrínsecamente eléctrica, en alguna área del sector rural esta tarea se satisface haciendo uso de petróleo diáfano y por tanto ubicaremos la forma de esta energía, para este caso, como la de un líquido portable y no de electricidad, a fin de hacer resaltar, cómo, en esos lugares, se satisface la mencionada necesidad. Para terminar con el último caso, --- cuando la función de la energía sea levantar o trasladar algún peso, como sucede en la industria, la forma de la energía que se requiere la denominaremos Trabajo Mecánico.

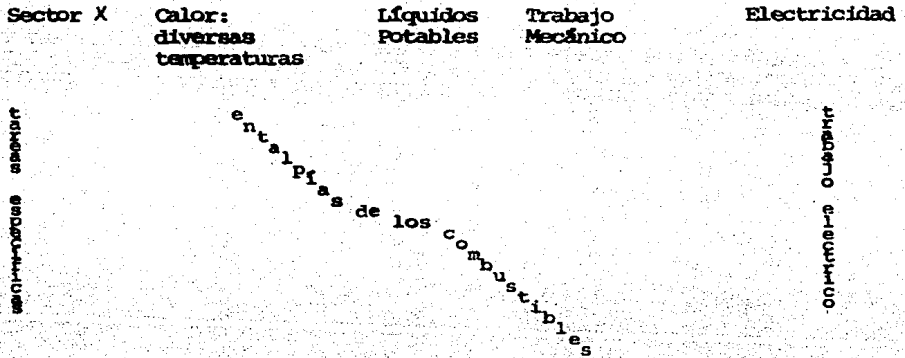
Todas estas formas y calidades de la energía pueden ser deducidas a partir de balances de primera ley en la realización de la tarea, vía un dispositivo o sistema. Entonces debe quedar claro que podemos realizar arreglos matriciales como el que se muestra en el cuadro 2.3.

Al conjunto de arreglos matriciales, hechos para todos los sectores de consumo de energía, del tipo del cuadro siguiente le denominaremos: "El Espectro Termodinámico del Uso Final de la Energía".

Es pues, ésta la metodología que puede ser aplicada en nuestro país, no obstante la pobreza de la información al respecto, como lo demostraremos en el próximo capítulo. El traba-

CUADRO 2.3

Formas y Calidades de la Energía



jo ahora va a consistir en desagregar el consumo final de la energía por sectores en consumo final de la energía por tareas específicas a la vez que caracterizaremos mejor a éstas usando la metodología anteriormente descrita. Para hacerlo, nos valdremos en general de estimaciones sugeridas por "expertos" en diversas publicaciones nacionales, así como de estimaciones propias, sustentadas en la información dispersa hallada. Aclaremos que en cuanto a los procesos termales se refiere, la información que está a nuestro alcance nos permite sólo agrupar las calidades del calor en tres intervalos: $< 100^{\circ}\text{C}$, $100-400^{\circ}\text{C}$ y $> 400^{\circ}\text{C}$.

Por último, debido a la escasez de información, la presente investigación tiene el defecto de no incorporar energéticos-comerciales de uso final frecuentes en el sector rural - como: energía animal, desecho de cultivos y animales, etc., lo cual le resta completez a este trabajo.

3. USO FINAL DE LA ENERGIA EN MEXICO

3.1 *Introducción*

Dado el bajo nivel en la calidad de la información y el escaso conocimiento de las actividades que se realizan en rela-ción al consumo final de la energía, es necesario elegir co-mo objeto de análisis los sucesos ocurridos durante un año -lectivo, referente al citado consumo final, y para el cual exista la información mínima necesaria. A este año lectivo-le llamaremos el "caso base" y será el de 1981. La mencionada información nos condiciona para hacer uso de un criterio-de primera ley. Los resultados que se encuentren son posi-bles de transferir al año de 1987, pues es probable de que -los cambios ocurridos en este lapso de tiempo, en lo referente al asunto que nos ocupa sean muy lentos.

Seguramente con el correr del tiempo se llegará a superar el problema de la confiabilidad, la precisión y la calidad de información con respecto a la que disponemos actualmente, -- sin embargo, a fin de que no queden dudas y se pueda medir -- el alcance del presente trabajo, se pretende hacer uso aún de las suposiciones como parte del examen en la realización del trabajo, así como el uso de aquellas fuentes de información que sean lo más explícitas posibles.

La cantidad de información en el uso de la energía dentro del consumo final puede a simple vista diferenciarse entre la proveniente de energéticos comerciales y la de energéticos -- no comerciales, siendo la de los primeros, en general, de mayor cantidad que la de los segundos, lo cual no quiere decir que exista mucha información para los primeros, sino simplemente que existen más datos al respecto. Los energéticos comerciales de uso final son los dados en la Tabla 2.3, los -- energéticos no comerciales de uso final, son los energéticos primarios de la leña y el bagazo. El hecho de que existe menor información del consumo de estos últimos radica en el -- abandono que ha tenido el conocer el consumo rural energético³ con lo cual se han relegado al olvido las necesidades -- energéticas de un sector muy amplio de la población. Esta --

3 - Es hasta el balance citado en la ref.cit.(18) que por -- primera vez se toma en cuenta a la leña y al bagazo como energético de consumo de magnitud considerable.

diferencia en la información nos lleva a dividir, de momento nuestro trabajo en dos partes; para establecer, primero el uso final de la energía comercial y, posteriormente, el uso final de la energía no comercial.

Como una característica más de este trabajo se considerará - al autoconsumo propio de Pémex así como al consumo energético de la petroquímica básica, también dependiente de Pémex, como un sector más integrado al consumo final al cual denominaremos "sector Pémex". Esto por razones de disposición de información por un lado, pero sobre todo por el hecho de que efectivamente Pémex está realizando también un consumo final de la energía. Esta necesidad se ha reconocido en los últimos balances de energía, aunque de momento sólo se ha incorporado al consumo final a la petroquímica básica⁴.

Una vez realizado el uso final de la energía comercial, primero, y el uso final de la energía no comercial, procederemos a empalmarlos para conformar el uso final total de la energía en México, dispuesto el mismo en sólo cuatro sectores: Residencial-Comercial-Público, Industrial, Transporte y Agropecuario; además de los usos no energéticos que se irán señalando a medida que se desarrolle el presente capítulo.

4 - Ver ref.cit. (18)

diferencia en la información nos lleva a dividir, de momento nuestro trabajo en dos partes; para establecer, primero el uso final de la energía comercial y, posteriormente, el uso final de la energía no comercial.

Como una característica más de este trabajo se considerará al autoconsumo propio de Pémex así como al consumo energético de la petroquímica básica, también dependiente de Pémex, como un sector más integrado al consumo final al cual denominaremos "sector Pémex". Esto por razones de disposición de información por un lado, pero sobre todo por el hecho de que efectivamente Pémex está realizando también un consumo final de la energía. Esta necesidad se ha reconocido en los últimos balances de energía, aunque de momento sólo se ha incorporado al consumo final a la petroquímica básica⁴.

Una vez realizado el uso final de la energía comercial, primero, y el uso final de la energía no comercial, procederemos a empalmarlos para conformar el uso final total de la energía en México, dispuesto el mismo en sólo cuatro sectores: Residencial-Comercial-Público, Industrial, Transporte y Agropecuario; además de los usos no energéticos que se irán señalando a medida que se desarrolle el presente capítulo.

4 - Ver ref.cit. (18)

3.2 Uso Final de la Energía Comercial

3.2.1 Sector residencial comercial público (SRCP), 1981

Este sector es el menos estudiado de todos los que componen el sistema energético mexicano.

El SRCP mostró en 1981 el siguiente consumo de energía:

TABLA 3.1

<u>ENERGETICO</u>	<u>CANTIDAD (10¹² Kcal)</u>
G. Licuado	40.84
Kerosinas	16.66
Diesel	4.03
Combustóleo	0.06
Gas	4.67
Electricidad	<u>22.96</u>
TOTAL	89.22

FUENTE: SEPAFIN, Balance Nacional de Energía de 1981.

Con respecto a la electricidad podemos decir que este sector es el mayor demandante de energía eléctrica. La electricidad tiene diversos usos en este sector entre los que destacan la iluminación, accionar diversos aparatos eléctricos y electrónicos como refrigeradores, televisores, planchas, lavadoras, tocadiscos, licuadoras, aspiradoras, sinfonolas, ca

jas eléctricas, etc. también se utiliza en el acondicionamiento del ambiente, en el bombeo de agua (para uso doméstico), para accionar elevadores, etc. Sin embargo, muy poco sabemos acerca de cómo se distribuye el consumo de electricidad en estos quehaceres. La única estimación que se pudo encontrar es la que se representa porcentualmente en la Tabla 3.2. En esta misma tabla hemos aplicado los porcentajes estimados de consumo de electricidad según los distintos usos a la cantidad de energía eléctrica consumida en 1981.

TABLA 3.2. CONSUMO DE ELECTRICIDAD EN EL SRCP.

	Porcentaje (%)	Cantidad consumida en 1981 (10 ¹² Kcal)
Iluminación*	55.0	12.63
Aparatos eléctricos**	18.0	4.13
Refrigeración	14.0	3.21
Acondicionamiento del ambiente***	7.0	1.61
Lavadoras, bombas y elevadores	<u>6.0</u>	<u>1.38</u>
TOTAL	100.0	22.96

FUENTE: De Diego M., Manuel, "Consideraciones sobre racionalización del uso de la energía en los sectores habitacional, comercial y de alumbrado público". Seminario de Economía de la Energía, SEPAFIN, México (1978).

* Iluminación doméstica y Pública.

** Televisión y enseres menores (planchas, aspiradoras, radios, etc.)

*** Aire acondicionado, calentadores eléctricos y ventiladores.

Los petrolíferos característicos en este sector son el gas licuado y el petróleo diáfano y en los últimos años se ha hecho importante el consumo de gas natural en detrimento del uso del petróleo diáfano.

Estos tres petrolíferos se consumen en los procesos de cocción y calentamiento de agua primordialmente, aunque una parte pequeña de petróleo diáfano se consume para iluminación en el subsector rural. El diesel y el combustóleo (casi despreciable) son energéticos líquidos que se consumen en procesos de combustión interna, principalmente para generación de electricidad durante emergencias en cines, hospitales, etc., y también para bombeo de agua de uso doméstico.

A continuación estimaremos el uso final de estos productos petrolíferos:

a) Kerosinas (petróleo diáfano)

El petróleo diáfano se consume mayormente en los procesos de cocción y calentamiento de agua y en menor proporción se utiliza quemándolo en pequeños mecheros para iluminación. Este último uso es característico del subsector rural. En 1980 se estima que se consumió 1.4×10^{12} Kcal(8) de petróleo diáfano para iluminación en éste subsector y podemos considerar que la cantidad señalada permaneció esencialmente igual para

el año de 1981.

Entonces del total de 16.66×10^{12} Kcal podemos considerar - la siguiente distribución del petróleo diáfano en las tareas de iluminación, cocción y calentamiento de agua:

TABLA 3.3.

<u>TAREA ESPECIFICA</u>	<u>CANTIDAD (10^{12} Kcal)</u>
Iluminación	1.4
Cocción y calenta miento de agua	<u>15.26</u>
TOTAL	16.66

En el inciso c) desagregaremos la cantidad de energía que - se consume en la cocción y en el calentamiento de agua.

b) Diesel y combustóleo

Estos petrolíferos característicamente, como ya dijimos, son combustibles de máquinas de combustión interna. En 1981 las cantidades de diesel y combustión consumidas en este sector- fueron respectivamente 4.03×10^{12} Kcal y 0.06×10^{12} Kcal, - por tanto podemos atribuirle a estos petrolíferos el siguien te uso final:

TAREA ESPECIFICACANTIDAD

Motores de combustión interna
(generación de electricidad y
bombeo de agua para uso domés-
tico)

4.09 x 10¹² Kcal

c) Gas Licuado, Kerosinas (petróleo diáfano) y Gas

Sabemos que éstos petrolíferos tienen como sus principales - aplicaciones, la cocción de alimentos y el calentamiento de agua, sin embargo se ignora como se distribuyen en estas --- aplicaciones. Una primera aproximación la podemos hacer con siderando la Tabla 3.4. Esta tabla nos informa en que por-- centajes se consume la leña en los procesos de cocción y ca- lentamiento de agua en el medio rural según un estudio⁵ que- presumiblemente abarcó 14 Estados de la República, los cua-- les concentran la mayor parte de la población rural de Méxi- co. Este estudio toma en cuenta el nivel de ingreso de los- distintos grupos sociales rurales de estos Estados y caracte- riza el consumo energético por tarea específica. Con más de tenimiento se cita el mencionado estudio en la sección "Uso- Final de la Energía no Comercial", de ésta tesis. Por el mo mento sólo nos interesarán los datos dados en la Tabla 3.4.

5 - Véase fuente citada en la Tabla 3.4

TABLA 3.4. PORCENTAJES DE CONSUMO DE LEÑA EN LA COCCION Y-
CALENTAMIENTO DE AGUA RESPECTO AL TOTAL DE LEÑA
CONSUMIDA.

<u>TAREAS ESPECIFICAS</u>	S A L A R I O S		
	Bajo (%)	Medio (%)	Alto (%)
Cocci6n	82.6	58.5	50.3
Calentamiento de agua	2.0	9.1	34.0

FUENTE: Wionczek, Miguel, Gerald Foley y Ariane van Buren.
"La energa en la transici6n del sector agrcola de
subsistencia", El Colegio de Mxico, D.F. (1983).-
pp. 75

A fin de generar un parmetro estimador de la raz6n de consu-
mo de energa en los procesos de cocci6n y calentamiento de-
agua, introduciremos la hip6tesis de considerar que la raz6n
de consumo de energa en los procesos de cocci6n y calenta-
miento de agua en el sector RCP, es similar a la que se es-
tablece entre estas tareas especificas en el consumo energ-
tico del grupo rural de salarios altos dado en la Tabla 3.4.
Esta hip6tesis puede ser razonable debido al hecho de que el
grupo escogido es el que tiene mejor nivel de vida y por tan-
to podemos sospechar que imita el comportamiento de la pobla-
ci6n que consume energa comercial en el sector RCP.

Entonces podemos estimar que en el sector RCP la raz6n de -
consumo de energa en las tareas cocci6n y calentamiento de-

agua es de $50.3/34.0 = 1.48$. Con este dato y sabiendo la -- cantidad de energía que se consumió en las dos tareas mencionadas, podemos en primera instancia separar las cantidades de energía consumidas en la cocción y calentamiento de agua respectivamente. Esto se efectúa a continuación:

<u>TAREAS ESPECIFICAS</u>	<u>PETROLIFEROS</u>	<u>CANTIDAD (10^{12} Kcal)</u>
Cocción y Calentamiento de agua	Gas Licuado	40.84
	Gas	4.67
	Petróleo Difano ⁶	<u>15.26</u>
		60.77

Sean X e Y las magnitudes de la energía consumidas en la cocción y calentamiento de agua respectivamente. Tenemos que encontrar X e Y tales que $X/Y = 1.48$ y $X+Y = 60.77$.

La solución es: $X = 36.27$, $Y = 24.50$

Como el proceso de calentamiento de agua se lleva a cabo dentro del rango de temperatura $< 100^{\circ}\text{C}$ y el proceso de cocción se lleva a cabo en el rango de temperatura de $100-400^{\circ}\text{C}$ ⁷ po-

6 - Nótese que la cantidad de petróleo difano no incluye a la que se estima para la tarea de iluminación.

7 - En realidad el proceso de cocción de alimentos se lleva a cabo en el rango de $100-200^{\circ}\text{C}$, sin embargo el rango se amplía para agrupar, más fácilmente este proceso con --- otros procesos térmicos.

demos definir junto con los resultados anteriormente deducidos lo siguiente:

TABLA 3.5, 10^{12} Kcal

<u>TAREA ESPECIFICA</u>	<u><100°C</u>	<u>100-400°C</u>
Calentamiento de agua	24.50	
Cocción		36.27

Un resumen de todo lo anterior se muestra en el cuadro 3.1.

CUADRO 3.1. USO FINAL DE LA ENERGIA EN EL SECTOR RCP, 10^{12} Kcal.

	<100°C	100-400°C	Liq.portables	Electricidad	Total
Calentamiento de agua	24.50				24.50
Cocción		36.27			36.27
Iluminación			1.4	12.63	14.03
Aparatos eléctricos				4.13	4.13
Refrigeración				3.21	3.21
Acondicionamiento del ambiente				1.61	1.61
Lavadoras, bombas y elevadores				1.38	1.38
Máquinas de combustión interna			4.09		4.09
	<u>24.50</u>	<u>36.27</u>	<u>5.49</u>	<u>22.96</u>	<u>89.22</u>

3.2.2 Sector industrial, 1981

La demanda de energéticos por parte de este sector estuvo integrada de la siguiente manera:

TABLA 3.6.

ENERGETICO	CANTIDAD (10 ¹² Kcal)
Coque	20.76
Gas licuado	2.37
Diesel	9.39
Combustóleo	60.02
Gas	90.63
Electricidad	<u>22.40</u>
TOTAL	205.56

FUENTE: SEPAPIN, Balance Nacional de Energía de 1981.

La única información que nos ofrece buenos datos y nos muestra como se utilizaron los energéticos sólidos (coque) y líquidos, es la que tiene por origen una encuesta nacional ⁸ sobre el consumo de energía en la industria en 1981. Esta encuesta muestreó el consumo de aproximadamente el 71% del total de energía usada en el sector industrial y abarcó 289 industrias mismas que se presume son las que hacen más uso in-

8 - Ver fuente cit. en el cuadro 3.2

tensivo de la energía. El cuadro 3.2 muestra en resumen los resultados hallados en esta encuesta.

Existen problemas para determinar el uso final de la energía cuando un mismo flujo de energía cumple con dos tareas específicas como los casos del "vapor para tracción" y del "vapor para generación eléctrica". Lo ideal en estos dos casos sería saber que tanta energía se consume haciendo trabajo en la turbina y que parte se destina netamente a los procesos productivos termales. Una aproximación a la solución de este problema es la que debe considerar que las plantas de potencia usadas en la industria tienen un comportamiento análogo a la de una planta termoeléctrica que opera con una eficiencia del 38%. De acuerdo a esto el consumo de la energía sería como se muestra en la Tabla 3.7.

TABLA 3.7. CONSUMO DE ENERGIA EN UNA PLANTA DE POTENCIA DE VAPOR

LUGAR	PORCENTAJES (%)	
Caldera	12 (se disipa en forma de calor)	17% total de pérdidas en calor disipado
Otras pérdidas	5 (idem)	
Vapor	45 (valor entálpico del vapor a la salida de la turbina)	
Eficiencia	38 (energía eléctrica o mecánica a la salida)	

FUENTE: Instituto de Investigaciones Eléctricas

CUADRO 3.2, 10⁹ Kcal

	Cantidad	Porcentaje	Tipo de Proceso
1. Combustibles de uso directo	92537.1	68.87	Para procesos térmicos superiores a 500°C
2. Vapor de alimentación directa	26051.4	19.39	Para procesos entre 100 °C y 300°C
3. Vapor para tracción	5015.0	5.78	Acciona turbinas de vapor para el manejo mecánico y el vapor a la salida se destina para procesos térmicos a temperaturas inferiores a 100 °C
4. Vapor para generación eléctrica	8845.3	6.58	Acciona turbinas generando electricidad para el manejo eléctrico y otros servicios auxiliares que requieren electricidad, el vapor se destina para procesos térmicos a temperaturas inferiores a 100°C.
5. Combustible utilizado en generación eléctrica en motores de combustión interna	1914.2	1.43	Proceso de combustión interna
	<u>134361.0</u>	<u>100.0</u>	

FUENTE: IMP y SEPAFIN, "Encuesta sobre el consumo de la energía en la industria". México, 1981.

De acuerdo a la Tabla 3.7 podemos estimar que el "vapor para tracción" se utilizó de la siguiente manera:

	Cantidad (10^4 Kcal)	Porcentaje
Producción de trabajo mecánico	1904.94	38
Vapor con $T < 100^\circ\text{C}$ para unidades productivas	2255.85	45
Pérdidas	<u>852.21</u>	<u>17</u>
TOTAL	5013.0	100.0

De manera análoga para el "vapor para generación eléctrica".

	Cantidad (10^9 Kcal)	Porcentaje
Producción de energía eléctrica	3361.21	38
Vapor con $T > 100^\circ\text{C}$ para unidades productivas	3980.39	45
Pérdidas	<u>1503.70</u>	<u>17</u>
TOTAL	8845.3	100.0

A fin de ser consistente con el trabajo desarrollado de las próximas secciones atribuiremos las pérdidas arriba calculadas a la generación de trabajo mecánico y electricidad respectivamente. Así tenemos que:

TABLA 3.8

	(10 ⁹ Kcal)
Trabajo mecánico (cogenerado)	2757.15
Procesos térmicos con T<100°C	<u>2255.85</u>
Total	5013.0

TABLA 3.9

	Cantidad neta (10 ⁹ Kcal)
Energía eléctrica (cogenerada)	4864.91
Procesos térmicos con T<100°C	<u>3980.39</u>
Total	8845.30

Sumando estos resultados a la información mostrada en el cuadro 3.2 deducimos el siguiente uso final de los energéticos-petrolíferos y del coque.

CUADRO 3.3. (10⁹ Kcal)

	Cantidad (10 ⁹ Kcal)	Porcentaje
Procesos térmicos con T<100°C	92537.1	68.87
Procesos térmicos con 100<T<300°C	26051.4	19.39
Procesos térmicos con T>400°C	6236.24	4.64
Trabajo mecánico	2757.15	2.05
Electricidad	4864.91	3.62
Líquidos portables*	<u>1914.2</u>	<u>1.43</u>
Total	134361.0	100.0

* Se refiere a los combustibles líquidos utilizados en generar energía eléctrica en motores de combustión interna.

Puesto que el muestreo abarca el 73.36% del total de energía (no eléctrica) que se consumió en el sector industrial podemos estimar que el 100% de energía (no eléctrica) cuya cantidad es 183.16×10^{12} Kcal y que está compuesta por las cantidades de coque, gas licuado, diesel, combustóleo y gas, es consumida de manera similar a la del muestreo. Así entonces:

CUADRO 3.4.

	Cantidad (10^{12} Kcal)	Porcentaje	
	<100°C	8.50	4.64
Procesos térmicos	100-400°C	35.52	19.39
	>400°C	126.14	68.87
Trabajo mecánico	3.75	2.05	
Electricidad	6.63	3.62	
Líquidos portables	<u>2.62</u>	<u>1.43</u>	
Total	183.16	100.0	

En cuanto a la electricidad no generada en motores de combustión interna sabemos que su cantidad es de 22.4×10^{12} Kcal- y se utiliza junto con la electricidad cogenerada en el manejo eléctrico de los procesos y otros servicios eléctricos -- auxiliares.

Entonces resumiendo tenemos el siguiente espectro del uso fi

nal de la energía en el sector industrial.

CUADRO 3.5. USO FINAL DE LA ENERGIA EN LA INDUSTRIA, 10¹²
Kcal

	>400°C	<100°C	100-400°C	Trabajo mecánico	Líquido portables	Electri- cidad	Total
Procesos Térmicos	126.14	8.50	35.52				170.16
Manejo Mecánico				3.75			3.75
Motores de combustión interna (pa- ra generar electrici- dad).					2.62		2.62
Manejo eléc- trico y otros servi- cios eléc- tricos						6.63*	29.03
						22.40	
	126.14	8.50	35.52	3.75	2.62	29.03	205.56

* Electricidad cogenerada

3.2.3 Sector transporte, 1981

El consumo final de energía en 1981 de éste sector se desglosa en sus diferentes energéticos secundarios y sus respectivas cantidades a continuación:

<u>ENERGETICO</u>	<u>CANTIDAD (10¹² Kcal)</u>
Gas Licuado	0.19
Gasolinas	168.42
Kerosinas	14.78
Diesel	85.52
Combustóleo	0.04
Electriciad	<u>0.39</u>
Total	269.44

FUENTE: SEPAFIN, Balance Nacional de Energía de 1981.

En este sector, las gasolinas y el diesel, son combustibles de máquinas de combustión interna. Las primeras se destinan en orden de magnitud de gasolina usada a: automóviles, camiones y autobuses. La segunda se destinan a camiones y autobuses fundamentalmente, y a embarcaciones de la flota de carga y pesca en menor proporción. El gas licuado se utiliza como carburante y como combustible de vehículos. El combustóleo se usa mezclado con el diesel como carburante en lanchas y barcos.

Las kerosinas como la turbosina, se destinan como combustible de aviones. Y finalmente, la electricidad se usa para accionar el sistema de transporte colectivo "Metro" y alimentar de energía a los trolebuses, esencialmente.

La siguiente estimación⁹ nos dá una idea de cómo se distribuye la energía en este sector.

TABLA 3.10

MEDIO DE LOCOMOCION	PORCENTAJE
Automóviles	43.5
Camiones de carga	40.0
Camiones de pasajeros	9.0
Ferrocarriles	2.5
Aviación	3.5
Marítimo	1.0

FUENTE: Schutz, Fernando. "Uso eficiente de la energía en México, ANEXO X (Sector Transporte), Tabla 9, Instituto de Investigaciones Eléctricas, México (1982).

De esta Tabla 3.10 se puede inferir burdamente que el transporte de personas para la vía terrestre (automóviles, camiones de pasajeros, ferrocarriles y sistema de transporte¹⁰ eléctrico) absorbe aproximadamente el 53% del total de energía que se consume en éste sector. Mientras que el transporte de carga

9 - La estimación se sobreentiende que es para el año de --- 1981.

10- Este medio de transporte que comprende el metro y trolebuses, consume el total de energía eléctrica que se utiliza en éste sector y representa el .0014% del total de energía que se consume en este sector.

por la vía terrestre (camiones de carga y ferrocarriles¹¹) - hace uso aproximadamente del 42% del total consumido. El -- resto, aproximadamente 5%, se consume en aviones¹¹ y barcos¹¹. Una síntesis de ésto se muestra en la siguiente Tabla 3.11.

TABLA 3.11. CONSUMO DE ENERGIA POR ACTIVIDAD (SECTOR TRANSPORTE)

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>PORCENTAJE</u>
Transporte de personas. Vía terrestre	53
Transporte de carga. Vía terrestre	42
Aviones y barcos	<u>5</u>
Total	100

Todos los energéticos que se usan en éste sector, excepto la electricidad, tienen la característica de ser combustibles - líquidos para máquinas de combustión interna, por tanto, éstos tienen la calidad de ser líquidos portables.

11 - En 1981 se desplazó a través de ferrocarril el 1.8% del total de pasajeros y el 18% del total de carga transportada. A través de barco las cantidades respectivas fueron 0.1% y 14.6%. Las cantidades similares para el avión fueron de 1.1% y la otra es no significativa. Véase Sector Transporte en la fuente cit. en la Tabla 3.10.

De acuerdo a todo lo anterior podemos conformar el uso final de la energía en éste sector como se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO 3.6. USO FINAL DE LA ENERGIA-SECTOR TRANSPORTE, --
1981. 10^{12} Kcal.

	Líquidos portables	Electricidad	Total
Transporte de personas. Vía terrestre	142.41	0.39	142.80
Transporte de carga. Vía terrestre	113.16		113.16
Aviones y barcos	<u>13.48</u>	<u>---</u>	<u>13.48</u>
Total	269.05	0.39	269.44

3.2.4 Sector agropecuario, 1981

El sector agropecuario comprende al sector productivo rural y, en éste análisis, se contempla el consumo de energéticos-comerciales como son los productos petrolíferos y electricidad, pero no el consumo de fertilizantes. En 1981 éste sector consumió energía de la siguiente manera:

TABLA 3.12

<u>ENERGETICO</u>	<u>CANTIDAD (10¹² Kcal)</u>
Gas licuado	0.23
Kerosinas	2.68
Diesel	15.30
Electricidad	<u>3.30</u>
Total	21.51

FUENTE: SEPAFIN, Balance Nacional de Energía de 1981.

Los productos petrolíferos, en el sector, tienen, como uso final ser combustibles de máquinas de combustión interna. - Se estima¹² que un 90% de éste consumo se hace en tractores y un 10% en otro tipo de máquinas como trilladoras, segadoras, motores estacionarios, etc., entonces para los productos petrolíferos cuya cantidad es de 18.21×10^{12} Kcal tenemos el siguiente espectro de consumo:

	<u>Líquidos portables, 10¹² Kcal</u>
Máquinas agrícolas (tractores, trilladoras, motores estacionarios, etc.)	18.21

La electricidad tiene como uso final básico accionar motores

12 - Cifra tomada de la ref. cit. (8) pág. 318

eléctricos para bombeo de agua en el riego de los cultivos.-
Su cantidad consumida fué de 3.30×10^{12} Kcal.

Resumiendo, el espectro de consumo final de energía en este sector es:

CUADRO 3.7. USO FINAL DE LA ENERGIA-SECTOR TRANSPORTE, --
1981, 10^{12} Kcal.

	Líquidos portables	Electricidad	Total
Máquinas agrícolas (tractores, trilladoras, motores estacionarios, etc.)	18.21		18.21
Bombeo de agua para riego	<u> </u>	<u>3.30</u>	<u>3.30</u>
	18.21	3.30	21.51

3.2.5 Sector Pémex

Pémex es la industria más compleja que tiene el país, sus --
actividades van desde la extracción, producción de bienes in
termedios y de uso final, y diversos servicios. Como tal, -
el uso final de la energía en éste sector es muy diverso y -
por tanto es difícil elaborar estimaciones del uso final de-
la energía, máxime si agregamos que es muy escasa la informa
ción de que se dispone.

Para realizar la aproximación del uso final de la energía en ésta industria, nos valdremos de varias suposiciones, procurando que todas ellas reflejen lo más fielmente posible la real magnitud del consumo de energía en los diferentes quehaceres de la mencionada industria. Dos serán las suposiciones más importantes; la primera es la de considerar la estructura porcentual de consumo y el uso final de la energía en Pémex, sin contar a la petroquímica básica, que permanecieron iguales en 1981, que a los de 1973, año en que se cuenta con suficiente información. La segunda es la de considerar que el uso final de la energía en la industria petroquímica-básica es igual a la de la industria química. La primera suposición está suficientemente justificada en el hecho de que la estructura porcentual del consumo de hidrocarburos no muestra mucha variación desde 1973, esto se puede apreciar en la Tabla 3.13. Con respecto a la electricidad consumida, ésta es realmente pequeña en comparación a la magnitud del consumo de los hidrocarburos y no altera la suposición.

La segunda suposición tiene como base la gran similitud de operaciones que tienen la industria química y la petroquímica, de hecho, en buena medida la industria química es la continuación de la petroquímica en México.

TABLA 3.13. ESTRUCTURA PORCENTUAL DEL AUTOCONSUMO DE HIDRO CARBUROS EN PEMEX

	1973 (%)	1981 (%)
Gas natural	70.20	75.45
Combustóleo	19.60	14.04
Diesel	4.80	4.92
Gasolinas	3.90	1.64
Gas licuado*	0.90	3.24
Kerosinas	0.60	0.71

FUENTE: Los datos para el año de 1973 fueron tomados de: -
IMP, Tomo III, Cuadro IV.95, Serie Energéticos, México (1975).

Los datos para 1981 fueron tomados del balance nacional de energía de 1981.

* El gas licuado tiene un uso estrictamente doméstico por parte del personal de la industria y no influye en la estructura propia de consumo de la industria.

En el consumo propio de energía en Pemex podemos distinguir en su totalidad tres tipos de consumo¹³: consumo energético de Pemex en las fases productivas (campos petroleros, refinación y distribución¹⁴), consumo no energético de la industria petroquímica; y consumo energético de la industria petroquímica.

13 - Los balances de energía oficiales de 1982-1984 ya hacen estas distinciones.

14 - A este consumo que globaliza sólo a las mencionadas tres fases productivas en los últimos balances energéticos se le denomina "Consumo Propio del Sector Energético" a diferencia de los anteriores balances en los que bajo este nombre se incluía el consumo energético y no energético de la industria petroquímica básica.

mica básica. Los dos últimos tipos de consumo se satisfacen primordialmente a partir de gas, de hecho el consumo energético de la industria petroquímica básica es de gas solamente, mientras que el consumo no energético de la industria petroquímica básica está integrado de gas y lo que se denomina, - en los balances oficiales de energía, como "productos no --- energéticos". Lo que nos va a interesar ahora es desagregar el total de gas consumido por Pémex en 1981, a saber 109.34×10^{12} Kcal, en los tres tipos de consumo mencionados anteriormente.

En la Tabla 3.14 (columnas uno y dos), se muestra por cantidad y porcentajes respectivamente, cómo se consumió el gas - en 1982, según estos tres tipos de consumo.

Si hacemos la suposición de que la estructura porcentual de consumo de gas fué muy similar en 1981 a la de 1982, podemos estimar que el gas utilizado en el consumo propio de Pémex - en 1981 se distribuyó como aparece en la tercera columna de la tabla 3.14. Tomando estos valores como válidos, procederemos, a continuación en la estimación del uso final de la energía en el "Consumo Propio del Sector Energético" a la -- cual se le entenderá como aquel consumo de Pémex que no comprende los consumos energéticos y no energéticos de la Petroquímica Básica. Se hace mención a lo anterior para estar de acuerdo con la terminología de los últimos balances de ener-

gía de los años 1982-1984. El análisis del uso final de la energía de la Petroquímica Básica lo haremos posteriormente.

TABLA 3.14. CONSUMO DE GAS EN LA INDUSTRIA PEMEX

	1982 (10 ¹² Kcal)	8	1981 (10 ¹² Kcal)
Consumo propio energético en las fases productivas Campos, Refinación y Distribución	52.150	41.32	45.17
Consumo no energético-Petroquímica Básica	19.952	15.81	17.29
Consumo energético-Petroquímica Básica	<u>54.121</u>	<u>42.87</u>	<u>46.88</u>
	126.223	100.0	109.34

FUENTE: Los datos para 1982 tienen como fuente el balance nacional de energía, SEMIP, 1982. La cantidad global para 1981 tiene como fuente el balance nacional de energía, SEPAFIN, 1981.

El consumo propio del sector energético en 1981 fué el que aparece en la Tabla 3.15. Para estimar el uso final de la energía de los hidrocarburos haremos uso de la información tomada del volumen III, capítulo "Petrolera", série energéticos, IMP (1975), en donde se caracteriza el uso de los hidrocarburos para el año de 1973 por tarea específica y fase productiva "a grosso modo". La mayor parte de la información que a continuación se expondrá, se encuentra dispersa en la-

obra citada y se ha agrupado de una manera determinada para poderse estimar el uso final de la energía. De no mencionarse lo contrario, la información que vaya apareciendo se supondrá que tiene como fuente la obra citada.

TABLA 3.15. CONSUMO PROPIO DEL SECTOR ENERGETICO, 1981

<u>ENERGETICO</u>	<u>CANTIDAD, 10¹² Kcal</u>
Gas licuado	4.69
Gasolinas	2.36
Kerosinas	1.03
Diesel	7.13
Combustóleo	20.35
Gas	45.17
Electricidad	1.71
Usos no energéticos	<u>0.54</u>
	82.98

FUENTE: SEPAFIN, Balance de Energía de 1981.

Se estima que el total de hidrocarburos demandados en la industria Pemex se consumieron en las distintas fases productivas de acuerdo a la Tabla 3.16.

TABLA 3.16

<u>FASE PRODUCTIVA</u>	<u>% DE ENERGIA CONSUMIDA</u>
Refinación	76.3
Campos	21.1
Distribución	2.6

FUENTE: IMP, Tomo III, Cuadro IV.94, Serie Energéticos, ---
1975.

A continuación expondremos el uso final que se le dió a cada energético según las distintas fases productivas.

CAMPOS PETROLEROS

Gas natural: Primordialmente es combustible, aunque también es utilizado como carburante de motores estacionarios y semi fijos. Como combustible es usado en su mayoría para los procesos térmicos de desalación y deshidratación del crudo; de manera menos significativa es utilizado en el tratamiento térmico de los fluidos de inyección en los métodos de recuperación secundaria. El presente energético representa el --- 77.99% del total de energía usada en esta fase productiva.

Combustóleo: Este representa el 1.45% del total de energía consumida en los campos petroleros. Se utiliza como combustible en los procesos térmicos de ésta fase.

Diesel: Representa el 13.02% del total de energía consumida en ésta fase y es utilizado en motores de camiones de carga pesada, tractores, y en motores fijos y semifijos (para bombeo neumático, bombeo mecánico, etc.).

Gasolinas: Representan el 5.14% del consumo de energía en esta fase. Se utilizan en camiones de menor potencia, y en transporte aéreo (Gasaviones) en avionetas y helicópteros.

Kerosinas: Representan el 2.08% del total de energía consumida en ésta fase. Tienen un uso no energético ya que es usado para mantenimiento de maquinaria.

Gas licuado: Tiene un uso doméstico por parte del personal de PEMEX ocupado en ésta fase productiva.

REFINACION

Gas natural: Es usado como combustible en los procesos termales en la destilación primaria, desintegración y reducción de viscosidad, fraccionamiento de líquidos del gas natural, y en los procesos térmicos de las plantas catalíticas y térmicas. Su cantidad consumida representó el 70.42% del consumo total de energía en ésta fase.

Combustóleo: Es usado como combustible de manera análoga al gas natural. Su cantidad representó el 24.29% de la energía consumida en ésta fase.

Diesel: Su cantidad de uso en esta fase es insignificante - (0.7%). Es usada en motores fijos de combustión interna.

Kerosinas: Su uso es demasiado insignificante (0.09%). Se utiliza en el mantenimiento de maquinaria.

Gas licuado: Su uso representó el 1.17% de la energía usada en ésta fase. Su consumo es doméstico y hecho por parte del personal de Pemex que labora en ésta fase.

DISTRIBUCION

En ésta fase la energía es consumida en la transportación de los recursos del petróleo en los oleoductos, gasoductos, poliductos, autotanques, carrotanques y buquetantes. Etapa -- que podemos caracterizar porque en ella los energéticos usados tienen la calidad termodinámica de lo que denominamos como líquidos portables.

A partir de la anterior exposición podemos inferir lo siguiente:

- 1) El gas licuado es utilizado domécticamente por el personal que labora en Pémex, como tal, es usado primordialmente en las tareas específicas de cocción y calentamiento de agua, siendo así, podemos estimar que se mantiene entre estas dos tareas específicas, la misma razón de consumo de energía que fué utilizada en el SRCP, es decir, $X/Y = 1.48$, en donde X es la cantidad de energía consumida en la cocción, e Y es la respectiva en el calentamiento de agua. Puesto que la cantidad de gas licuado en esta industria fue de 4.69×10^{12} Kcal., tenemos que resolver el siguiente sistema de ecuaciones:

$$X/Y = 1.48$$

$$X + Y = 4.69$$

la solución es:

$$X = 2.80$$

$$Y = 1.89$$

Entonces podemos estimar el uso final de éste energético de la siguiente manera:

<u>Tarea específica</u>	100°C	100-400°C
Calentamiento de agua	1.89×10^{12} Kcal.	
Cocción		2.8×10^{12} Kcal

- 2) Las kerosinas en la industria tienen un uso no energético al servir primordialmente para el mantenimiento de maquinaria. Su cantidad consumida en 1981 fue de 1.03×10^{12} Kcal., entonces podemos afirmar lo siguiente:

Cantidad

Usos no energéticos 1.03×10^{12} Kcal.

- 3) Las gasolinas y el diesel se utilizan como combustible en máquinas o motores de combustión interna. Las primeras fueron usadas para accionar camiones de menor potencia o motores de avionetas y helicópteros. El segundo es combustible de tractores, camiones de mayor potencia, motores fijos y semifijos. Estos dos energéticos tienen la calidad de ser líquidos portables y su autoconsumo fue de 9.49×10^{12} Kcal., por tanto podemos establecer el siguiente uso final para estos energéticos:

Líquidos portables

Para accionar camiones de carga ligera, carga pesada, tractores, motores fijos y semifijos; y aviones y helicópteros

9.49×10^{12} Kcal.

- 4) El combustible tiene dos fines energéticos: uno, el de ser combustible en los procesos térmicos de los "campos petroleros" y, primordialmente, en la refinación, y el-

otro ser un combustible de barcos en la fase de la distribución. A fin de estimar cuanto es dedicado a procesos térmicos y cuanto a accionar barcos, consideremos-- que éste energético se consume de acuerdo a los porcentajes de consumo de energía en las distintas fases productivas que se mostraron en la Tabla 3.16. De acuerdo a esto el total de combustóleo (20.35×10^{12} Kcal) se consumió de la siguiente manera:

	<u>Cantidad</u>	%
Procesos térmicos	19.82×10^{12} Kcal	97.4
Combustible de barcos	0.53	2.6

La cantidad consumida como combustible de barcos tiene la calidad de ser líquidos portables. En cuanto a los procesos térmicos, el combustóleo es usado primordialmente como combustible en las plantas de refinación y de manera casi insignificante en los "campos". Resta entonces determinar los rangos o calidades de energía por temperatura de uso en que es empleado éste energético, lo cual haremos junto con el análisis para el gas natural.

- 5) Al gas natural se le utiliza mayormente como fuente de energía en los procesos térmicos, ya sea en los "campos", en los procesos de desalación y deshidratación, y

en la refinación.

La cantidad 45.17×10^{12} Kcal de gas, podemos estimar que se consumió de tal manera que su razón de consumo en estas dos fases está muy cercana a la razón de consumo energético total en estas dos mismas fases, a saber $21.1/76.3 = 0.28$, de acuerdo a esto tenemos que resolver el siguiente sistema de ecuaciones:

$$X/Y = 0.28$$

$$X + Y = 45.17$$

la solución es:

$$X = 9.88 \text{ (energía consumida en los campos)}$$

$$Y = 35.29 \text{ (energía consumida en la refinación)}$$

El cuadro siguiente muestra estos resultados de manera más caracterizada, nótese que se ha agregado el combustible utilizado en los procesos termales.

Procesos termales	Cantidad, 10^{12} Kcal
Desalación y deshidratación	9.88
Refinación	
i) Combustóleo	19.82
ii) Gas	<u>35.29</u>
	35.11

En los procesos de desalación y deshidratación el crudo se calienta entre 70°C(3) y 175°C(3), siendo las mayores temperaturas de operación para los crudos más viscosos. En general, para las características del crudo de México, podemos ubicar a éste proceso en el rango de 100°C a 400°C, entonces con respecto a la energía utilizada en estos procesos podemos afirmar:

100-400°C

Procesos térmicos en la
desalación y deshidratación

9.88 x 10¹² Kcal

La refinación del petróleo crudo comprende diversos procesos térmicos que en su mayor parte hacen un uso intensivo de la energía y requieren de calidades energéticas de calor más bien altas. El cuadro 3.8 muestra, entre otras cosas, las condiciones de presión y temperatura en las cuales se llevan a cabo los diversos procesos de refinación en México. Por otro lado, la Tabla 3.17 muestra los requerimientos de energía en términos de toneladas de petróleo equivalente por unidad de carga en cada uno de los procesos de refinación en las refineras europeas en 1970.

TABLA 3.17. REQUERIMIENTOS DE TONELADAS DE PETROLEO EQUIVALENTE POR UNIDAD DE CARGA EN REFINERIAS EUROPEAS DE 1970.

PROCESO	NORMA
Destilación primaria	1.5
Destilación al vacio	1.5
Desintegración Catalítica	6.0
Reducción de viscosidad	2.0
Reformación	8.0
Hidrodesulfuración	1.5

FUENTE: PEMEX

La Tabla 3.18, muestra, en primer lugar, las capacidades nominales para efectuar cada uno de los principales procesos que integran la refinación en la industria Pemex. Estos procesos se han agrupado por rangos de temperatura, dentro de los cuales situamos las calidades energéticas del calor con que se llevan a cabo los procesos. Las calidades energéticas del calor fueron determinadas a partir de la información del cuadro 3.8, y de información proveniente de Etienne G. y H. Menchaca "El petróleo y la petroquímica", ANUIES, México (1975), pp.27-73; y de Maxwell Considine, D., "Energy technology handbook", Mc Graw Hill, New York, (1977) pp. 3-226-3-255.

CUADRO 3.8. PROCESOS DE REFINACION

CLASIFICACION	NOMBRE	CONDICIONES DEL PROCESO		OBJETIVO
		Presión (Atm)	Temp. (°C)	
PROCESOS DE DESCOMPOSICION				
Desintegración térmica	Desintegración	1.2	800	Producción de Etileno, Propileno
	Desintegración con vapor	2	750	Producción de Etileno, Propileno
	Reformación térmica	25-50	515-550	Mejorar el octanaje
	Desintegración térmica	20-40	470-510	Producir gasolina
	Reducción de viscosidad	10-20	440	Bajar la viscosidad
	Coquificación	20-35	480-520	Reducir los residuos y producir gas y coque
Desintegración Catalítica	Desintegración Catalítica (Haudy)	1.4	425-460	Producir gasolinas
	Desintegración Catalítica (Tempofox)	1-1.5	460-510	Producir gasolinas
	Desintegración Catalítica en lecho fluidizado	1.2	400-480	Producir gasolinas
	Deshidrogenación	1	500-600	Producir Butenos y Diolefinas
Hidrodésintegración Catalítica	Isomerización	20	65-100	Mejorar el octanaje
	Reformación Catalítica	20-50	480-520	Mejorar el octanaje
	Hidrodésintegración	10-30	425-510	Producir gasolinas, Estabilizar y Desulfurar
	Hidrotratamiento	40-65	320-400	Desulfurar, Estabilizar y mejorar el índice de viscosidad
PROCESOS DE SINTESIS				
Térmicos	Alquilación	200	480-540	Producir Isoparafinas
	Polimerización	100	480-550	Producir gasolinas
Catalíticos	Alquilación	8-10		Producir gasolinas
		1		Producir gasolinas
		8-40		Producir cemento
		2		Producir Etilbenceno
		20-40		Producir gasolina
		25-45		Producir Tetrapropileno
		1		Producir Isoocteno
	Hidrogenación	2-5		Producir gasolina
		1-4		Saturar
TRATAMIENTOS QUIMICOS				
Extracción Lavado	Proceso Girbotol			Desulfurar
	Lavado Alcalino			Desulfurar
	Endulzado			Transformar los mercaptanos ácidos en disulfuros neutros. Eliminar RSH pesados
	Tratamiento Acido			Desulfurar, Estabilizar y Decolorar

FUENTE: Ettiene G. y H. Manchaca. "El petróleo y la petroquímica". ANUIES, México, 1975, Tabla IX, pp. 46-47.

TABLA 3.18. CARACTERIZACION DE LOS PROCESOS DE REFINACION
 POR CAPACIDAD NOMINAL Y CALIDADES ENERGETICAS
 DE CALOR

	1) CAPACIDAD NOMI- NAL (Barriles por día)	2) NORMA	(1)x(2)	% relativo de consumo de energía
<u>100-400°C</u>				
Destilación primaria	1 523 500	1.5	2 285 250	
Desulfuradora Catalí- tica perco.	31 000	1.5	46 500	
Hidrodesulfuradoras:				
De destilados interme- dios,	215 000	1.5	322 500	
De gasolinas,	47 000	1.5	70 500	
De Kerosinas,	26 000	1.5	39 000	
De diesel,	31 000	1.5	46 500	
De Naftas	147 500	1.5	220 500	
Fraccionadoras	<u>149 500</u>	1.5*	<u>224 250</u>	
>400°C	2170.000	43.46	3255 000	43.46%
Destilación al vacío	594 200	1.5	891 300	
Desintegración Catalí- tica	328 000	6	1968 000	
Reducción de viscosidad	69 000	2	138 000	
Reformadora catalíticas:				
De naftas,	50 000	8	400 000	
De gasolinas	23 000	8	184 000	
Naftas pesadas	56 800	8	454 400	
Destilación secundaria (preparadora de carga)	104 000	1.5*	156 000	
Destilación secundaria (preparadora de lubrican- tes)	29 000	1.5*	<u>43 800</u>	
TOTAL			4 235 500	56.54%
GRAN TOTAL			7 490 500	100.00%

* Valores estimados

En segundo lugar, en la misma tabla 3.18 estimamos el porcentaje relativo de consumo de energía por rangos de temperatura, esta estimación la hacemos suponiendo válidas las normas que se presentaron en la tabla 3.17 para los procesos de refinación en México, además se supuso que la capacidad nominal coincide con la carga diaria en los diferentes procesos de refinación en México. Finalmente, nótese que únicamente nos están interesando las proporciones relativas de consumo de energía y no las magnitudes.

De acuerdo a la tabla 3.18 del 100% de energía que se consume diariamente en los procesos térmicos, el 43.46% se consume en procesos térmicos entre el rango de 100-400°C y 56.54% en procesos térmicos con temperaturas mayores de 400°C. Si suponemos que la estructura porcentual de consumo diario de energía en los procesos térmicos de la refinación coincide con la análoga estructura porcentual anual, podemos establecer el siguiente uso final de la cantidad de 55.11×10^{12} Kcal que se consumió en 1981 en los procesos térmicos de la refinación.

TABLA 3.19. USO FINAL DE LA ENERGIA EN LOS PROCESOS TERMICOS DE LA REFINACION, 10^{12} KCAL.

	100-400°C	400°C	TOTAL
Procesos térmicos	23.95	31.16	55.11

LA PETROQUIMICA BASICA

Se denomina como Petroquímica Básica a la industria que procesa productos o subproductos provenientes de la refinación de hidrocarburos, dando por resultado, nuevos productos todos provenientes de una primera transformación química importante. Estos productos son a su vez susceptibles de servir como materias primas industriales básicas, sobre todo de la industria química.

El consumo no energético de esta industria se estimó anteriormente que fue de 17.29×10^{12} Kcal que representa únicamente el gas metano que sirve como materia prima. Otros consumos no energéticos de la petroquímica básica y de PEMEX, en general, se encuentran registrados en el balance de energía de 1981, dentro del "Consumo final no energético", la mencionada información será ocupada posteriormente.

Si al consumo no energético de la petroquímica básica le agregamos la cantidad de "productos no energéticos" de la Tabla 3.15 cuya cantidad es de 0.54×10^{12} Kcal más el uso no energético de las Kerosinas que es de 1.03×10^{12} Kcal podemos establecer el siguiente consumo no energético total de PEMEX:

Cantidad, 10^{12} Kcal

Consumo no energético	18.86
-----------------------	-------

En cuanto al consumo energético de la industria Petroquímica Básica podemos decir que tiene un uso final difícil de establecer, pues la cantidad de productos que se generan son muy diversos y muy poca información se tiene para saber cómo se realizan en México. Por lo tanto se ha decidido aproximar el uso final de la energía en esta industria de igual manera, - en términos proporcionales, a como se establece para la industria química (lo cual si lo podemos conocer). Como anteriormente dijimos, la base de ésta suposición radica en el hecho de que la intensidad energética y naturaleza de los procesos que se llevan a cabo en estas dos industrias son muy similares.

La Tabla 3.20 muestra las características del consumo de combustibles en la industria Química.

Aplicando los porcentajes de la Tabla 3.20 a la cantidad consumida en la industria Petroquímica Básica (ver Tabla 3.14) - y procediendo de manera análoga a como se hizo en el análisis del uso final del sector industrial (subsección 3.2.2), - se llega a establecer el uso final para la Petroquímica Básica el cual se muestra en el cuadro 3.9.

TABLA 3.20. CONSUMO DE LA ENERGIA EN LA INDUSTRIA QUIMICA, 1981

	Cantidad, 10 ⁹ Kcal	%	Tipo de procesos
1. Combustibles de uso directo	7239.2	32.67	Para procesos térmicos superiores a 500°C
2. Vapor de alimentación directa	11431.4	51.59	Para procesos térmicos entre 100°C y 300°C
3. Vapor para tracción	2090.06	9.43	Cogeneración de trabajo mecánico y vapor a menos de 100°C
4. Vapor para generación eléctrica	1258.70	5.68	Cogeneración de electricidad y vapor a menos de 100°C
5. Combustibles utilizados en generación eléctrica por combustión interna	138.3	0.61	Electricidad
	<u>22157.66</u>	<u>100.0</u>	

FUENTE: IMP Y SEPAFIN, "Encuesta sobre el consumo de la energía en la Industria", México (1981).

CUADRO 3.9. USO FINAL DE LA ENERGIA EN LA PETROQUIMICA BASICA, 10^{12} Kcal

	100°C	100-400°C	400°C	Trabajo mecánico	Liq. por tablas	Electricidad Cogenerada	Total
Procesos térmicos	3.19	24.19	15.32				42.7
Tracción mecánica				2.43			2.43
Manejo eléctrico						1.46	1.46
Motores de combustión interna (generación de electricidad)					<u>0.29</u>		<u>0.29</u>
	<u>3.19</u>	<u>24.19</u>	<u>15.32</u>	<u>2.43</u>	<u>0.29</u>	<u>1.46</u>	<u>46.88</u>

Como resultado final del análisis del consumo energético de la industria Pémex, se tiene el cuadro 3.10 que muestra el uso final de la energía en esta industria.

Por último el cuadro 3.11 muestra en forma resumida los resultados en esta sección que conforman el espectro del uso final de la energía comercial. Desde otra perspectiva la Tabla 3.21 muestra el perfil del espectro mencionado.

CUADRO 3.10. USO FINAL DE LA ENERGIA EN LA INDUSTRIA PEMEX
1981, 10^{12} Kcal.

	100°C	100-400°C	400°C	Trabajo mecánico	Li.por tablas	Electricidad	Total
Calentamiento de agua	1.89						1.89
Cocción		2.80					2.80
Manejo eléc- trico y otros servicios eléctricos						3.17*	3.17
Tracción me- cánica				2.43			2.43
Máquinas y mo- tores de com- bustion inter- na					10.31		10.31
Procesos termales	<u>3.19</u>	<u>58.02</u>	<u>46.48</u>				<u>107.69</u>
	5.08	60.82	46.48	2.43	10.31	3.17	128.29

Consumo no energético 18.86×10^{12} Kcal.

Gran total 147.15×10^{12} Kcal.

* Incluye electricidad cogenerada

CUADRO 3.11. ESPECTRO DEL USO FINAL DE LA ENERGIA COMERCIAL EN MEXICO

SECTOR	<100°C	100-400 °C	>400 °C	Trabajo mecánico	Líquidos portables	Electricidad	Total
<u>Residencial, comercial y público</u>							
Calentamiento de agua	24.50						24.50
Cocción		36.27					36.27
Iluminación					1.40	12.63	14.03
Aparatos eléctricos						4.13	4.13
Refrigeración						3.21	3.21
Acondicionamiento del ambiente						1.61	1.61
Lavadores, bombas y elevadores						1.38	1.38
Motores de combustión interna					4.09		4.09
	24.50	36.27	-	-	5.49	22.96	89.22
<u>Industrial</u>							
Procesos térmicos	8.50	35.52	126.14				170.16
Manejo mecánico				3.75			3.75
Motores de combustión interna para generar energía eléctrica					2.62		2.62
Manejo eléctrico y otros servicios eléctricos						29.03*	29.03*
	8.50	35.52	126.14	3.75	2.62	29.03	205.56
<u>Transporte</u>							
Transporte de personas. Vía terrestre					142.41	0.39	142.80
Transporte de carga. Vía terrestre					113.16		113.16
Aviones, barcos					13.48		13.48
					269.05	0.39	269.44
<u>Agronegocios</u>							
Máquinas agrícolas (tractores, trilladoras, motores estacionarios, etc.)					18.21		18.21
Bombeo de agua para riego						3.30	3.30
					18.21	3.30	21.51
<u>PEMEX</u>							
Calentamiento de agua	1.89						1.89
Cocción		2.80					2.80
Manejo eléctricos y otros servicios eléctricos						3.17*	3.17
Traacción mecánica				2.43			2.43
Máquinas y motores de combustión interna					10.31		10.31
Procesos químicos	3.19	59.02	46.48			3.17	128.28
	5.08	60.82	46.48	2.43	10.31	3.17	128.29

Usos no energéticos** 62.41 x 10¹² Kcal.

* Se incluye a la electricidad generada (1.46 TWh) (Méx)

** Esta cantidad es igual a la de los usos no energéticos que aparecen en el balance nacional de energía de 1981 (43.55 x 10¹² Kcal) más el consumo no energético en la industria PEMEX (18.86 x 10¹² Kcal).

TABLA 3.21. PERFIL DEL USO FINAL DE LA ENERGIA COMERCIAL

	Cantidad (10 ¹² Kcal)	Porcentajes (%)
Procesos térmicos:		
<100°C	38.08	4.90
100 - 400°C	132.61	17.08
>400°C	172.62	22.23
Trabajo mecánico	6.18	0.80
Líquidos portables	305.68	39.37
Electricidad	58.85	7.58
Usos no energéticos	<u>62.41</u>	<u>8.04</u>
TOTAL	776.43	100.00

3.3 *Uso Final de la Energía No Comercial*

Existen diversos energéticos que no son considerados en los balances oficiales de energía y que sin embargo son vitales para un gran sector de la población en México, entre éstos podemos citar la leña, los desechos de cultivos, los desechos de animales, el desarrollado por los animales en las faenas, etc. sin duda alguna olvidarse de éstos energéticos es marginar a un amplio sector de la población e ignorar una realidad ante problemas de gran magnitud, como es el hecho de que nuestros bosques y selvas están siendo altamente mermadas por tala in moderada y falta de replantación.

Hay una gran laguna de ignorancia que nos impide establecer el patrón de consumo de éstos energéticos; y más aún, si tratamos de establecer cual es su uso final. Sin embargo, es posible hacer algunas estimaciones que nos den idea de cuál podría ser el uso final de algunos de estos energéticos. En particular, estimaremos el uso final energético de la leña y el bagazo. La leña es considerada como el energético de mayor consumo en el subsector rural y el bagazo es el energético no comercial consumido en la industria azucarera en cantidades considerables.

A continuación haremos el análisis, primero para la leña y posteriormente para el bagazo.

i) Leña

La leña en el subsector rural es destinada primordialmente - para usos domésticos sobre todo para la cocción de alimen---tos. Diferentes estimaciones se han hecho para determinar - el consumo per cápita de leña y los resultados divergen mucho entre sí, de hecho esto es una característica de la informa---ción que existe para éste sector.

Sin embargo existen algunos estudios en los cuales nos pode---mos apoyar para hacer nuestra estimación. Estos estudios de caso tienen la inconveniencia de que son estudios puntuales---en el tiempo, es decir no son estudios sistematizados que -- abarquen un período de tiempo razonable que hagan realistas---los resultados de los consumos per cápitas reportados¹⁵. Ade---más son pocos estudios de caso para manejarlos estadística---mente.

15 - Un estudio de caso más sistematizado es el emprendido - por el grupo de energética de la Fac. de Ciencias de la UNAM en la comunidad de Cheranástico, municipio de Para---cho, Mich. En éste estudio se determina el promedio -- del uso per cápita de leña mensualmente, haciendo medi---ciones durante toda una semana de cada mes. Los resul---tados hasta ahora reportados son: para el mes de di---ciembre de 1985 1.8 kg/día, y para el mes de enero de - 1986 1.7 kg/día.

Nuestra estimación consiste en considerar como el consumo -- per cápita nacional de leña, el promedio de los consumos per cápitas que aparecen en la tabla siguiente.

TABLA 3.22. CONSUMOS PERCAPITAS DE LEÑA-ESTUDIOS DE CASOS

<u>Lugar o región</u>	<u>Consumo per cápita de leña</u>
Coscatlán de los Reyes, Ver.*	5 kg/dfa
San Jerónimo Tulijá, Chis.*	3 kg/dfa
La Guacamaya, Mich.*	3 kg/dfa
Amatlán, Mor.*	1.3 kg/dfa
Región N.E. del Edo. de Puebla **	4.2 kg/dfa
Purificación, Tepetitla, Edo. de Méx.**	2.1 kg/dfa
Sta. Catarina, Edo. de Méx. ***	2.3 kg/dfa

FUENTES:

- *) IIE, CFE, "Evaluación de la oferta y demanda de energía en cuatro comunidades rurales". México (mayo, 1983).
- **) Subsecretaría Forestal y de la Fauna, "Consumo de madera para combustible", México (1981).
- ***) Evans M., "The use of firewood as domestic fuel in Mexico and the patterns of change to alternatives", University of Oxford, USA, - August, 1983.

El promedio de estos valores es de 2.98 kg/dfa y es casi el estimado como el promedio de consumo per cápita de leña para América Latina, que es de 3 kg/dfa. Si suponemos éste resultado válido, podemos aplicarlo al año de 1981 debido a la -- cercanía en el tiempo que tienen los estudios con éste año.

Con el valor calculado, determinaremos cuanta energía en --
1981 se consumió en leña. El cálculo se muestra a continua--
ción.

CUADRO 3.12. CALCULO DEL CONSUMO ANUAL DE LEÑA. CASO DE -
MEXICO.

Población que consumió leña ¹⁶	18,814,432 personas
Consumo per cápita de leña	3 kg/día
Contenido calorífico de la leña ¹⁷	14,839 kj./kg.
Consumo de leña = 18,814,432 personas x 3 kg/día-persona x 14,839 kj/kg	
= 303.67×10^{15} Joules = 72.53×10^{12} Kcal.	

Esta cantidad última es muy parecida con la que reporta ---
SEMIP para 1984 que es de 74.4×10^{12} Kcal(18).

Para estimar el uso final de la leña nos basaremos en un es-
tudio que se encuentra reportado en la ref. cit. (21) (pág.-
75). El estudio abarca tres zonas rurales distintas del ---
país y establecen una relación entre los distintos niveles -
de ingreso de los pobladores y sus características de consu-
mo de energía. Se ha considerado que la zona más representa
tiva para aplicarse a éste trabajo es la zona 1 que abarca -
un mayor número de Estados de la República y de población --

16 - Dato tomado del Censo Nacional de 1980.

17 - Este valor es muy conservador

existente. A continuación se muestran los resultados reportados para la zona 1:

8 DE CONSUMO DE ENERGIA

Trabajo Especifico	Nivel de Ingreso		
	Bajo	Medio	Alto
Cocción de alimentos	82.6	58.5	50.3
Calentamiento de agua	2.0	9.1	34.0
Calefacción	2.2	24.0	15.5
Otro calor	4.3	8.4	0.2
Acervo de combustibles	<u>8.9</u>	<u>-</u>	<u>-</u>
	100.0	100.0	100.0

Bien podemos suponer que la mayor parte de la gente que consume leña es la que corresponde al de bajo nivel de ingreso para la zona 1, entonces las 72.53×10^{12} Kcal de leña podemos estimar que se consume de la siguiente manera:

	Cantidad (10^{12} Kcal)	Porcentaje
Cocción	59.91	82.6
Calentamiento de agua	1.45	2.0
Calefacción	1.60	2.2
Otro calor	3.12	4.3
Acervo de combustible	<u>6.46</u>	<u>8.9</u>
	72.53	100.0

Según la misma fuente, antes citada, la energía correspondiente a "otro calor" es la porción de leña que sirve de combustible para la pequeña industria rural (cerámica, panaderías, calerías, ladrilleras, etc.) cuyos procesos se llevan a cabo en el rango de 100-400°C. El acervo de combustible constituye la reserva de leña que termina consumiéndose en las demás tareas específicas. Entonces una vez distribuido el acervo de combustibles de tal modo que se haga mantener la participación relativa en el consumo de leña de las distintas tareas específicas llegamos al siguiente uso final de la leña:

CUADRO 3.13. USO FINAL DE LA LEÑA, 10^{12} Kcal.

	<100°C	100-400°C	Total
Cocción		65.76	65.76
Calentamiento de agua	1.60		1.60
Calefacción	1.75		1.75
Pequeña industria		<u>3.42</u>	<u>3.42</u>
	3.35	69.18	72.53

ii) Bagazo

El bagazo (fibra de caña) es un subproducto de la caña que se obtiene cuando a ésta última se le ha extraído el jugo.

Generalmente una pequeña porción de bagazo se vende ó se intercambia por combustóleo con la industria papelera, sin embargo la gran mayoría se utiliza como insumo energético gratuito en la industria azucarera.

El bagazo¹⁸ es destinado a las calderas para generar vapor, éste vapor es generalmente utilizado en un proceso de cogeneración para generar electricidad y vapor para los procesos de producción. Por mera conveniencia, se establecerá como tarea específica del bagazo, generar vapor para cogeneración. Según SEMIP en 1981 se consumió 20.669×10^{12} Kcal de bagazo y la generación de vapor en la industria azucarera se realiza con una presión promedio de 17.5^{19} kg/cm². Puesto que para esta presión la temperatura de saturación es de 205°C y se encuentra en el rango de temperaturas de 100-400°C podemos establecer el siguiente uso final para el bagazo.

Tarea específica	100-400°C
Proceso termal (generación de vapor para cogeneración)	20.67×10^{12} Kcal

18 - Comúnmente el bagazo se utiliza con combustóleo para -- compensar la baja eficiencia de las calderas. Ver ref. - cit. (7), Ind. Azucarera.

19 - Ref. cit. (7), pág. 274.

En el siguiente cuadro se muestra en forma conjunta el uso final de la energía no comercial correspondiente a la leña y el bagazo.

CUADRO 3.14. USO FINAL DE LA ENERGIA NO COMERCIAL*, 10^{12} - Kcal.

	<100°C	100-400°C	Total
Cocción		65.76	65.76
Calentamiento de agua	1.60		1.60
Calefacción	1.75		1.75
Procesos térmicos (pequeña industria rural y cogeneración en la industria azucarera)		<u>24.09</u>	<u>24.09</u>
	3.35	89.85	93.20

* Leña y bagazo únicamente.

ANALISIS DEL USO FINAL DE LA ENERGIA

A partir de los cuadros 3.11 y 3.14 podemos elaborar el espectro termodinámico total del uso final de la energía en México. Para hacer esto vamos a transferir los procesos de cocción, calentamiento de agua y calefacción, establecidos en el cuadro 3.14; así como los procesos de cocción y calentamiento de agua del sector Pemex del cuadro 3.11 hacia el -

SRCP del mismo cuadro. Finalmente transferiremos el resto - de los procesos del cuadro 3.14 y del sector PEMEX del cuadro 3.11 al sector industrial del cuadro 3.11, ésto debido a que los procesos son afines a los del sector industrial. Ha cerlo dá por resultado el cuadro 3.15, un perfil de este último cuadro se muestra a continuación:

TABLA 3.23. PERFIL DEL USO FINAL DE LA ENERGIA EN MEXICO

	Cantidad (10 ¹² Kcal)	Porcentaje (%)
Procesos Térmicos:		
<100 °C	41.43	4.76
100 - 400°C	222.46	25.58
≥400°C	172.62	19.58
Trabajo mecánico	6.18	0.71
Líquidos portables	305.68	35.15
Electricidad	58.85	6.77
Usos no energéticos	<u>62.41</u>	<u>7.18</u>
	869.43	100.0

Sin embargo, a fin de ser más razonables, tenemos que reconsiderar el hecho de que la electricidad es un energético "caro" en el sentido de que para producir una unidad de energía eléctrica en una termoeléctrica es necesario consumir aproximadamente tres unidades energéticas de combustible, entonces a fin de normalizar éste perfil energético, expresaremos a -

CUADRO 3.15. ESPECTRO DEL USO FINAL DE LA ENERGIA EN MEXICO, 1981, 10^{12} Kcal.

SECTOR	<100°C	100-400°C	>400°C	Trabajo mecánico	Líquidos por tables	Electricidad	Total
Residencial, Comercial y Público	29.74	104.83	—	—	5.49	22.96	163.02
Calentamiento de agua	27.99	—	—	—	—	—	27.99
Cocción	—	104.83	—	—	—	—	104.83
Iluminación	—	—	—	—	1.40	12.63	14.02
Aparatos eléctricos	—	—	—	—	—	4.13	4.13
Refrigeración	—	—	—	—	—	3.21	3.21
Acondicionamiento del ambiente	1.75	—	—	—	—	1.61	3.36
Levadoras bombas y elevadores	—	—	—	—	—	1.38	1.38
Motores de combustión interna	—	—	—	—	4.09	—	4.09
Industrial	11.69	117.63	172.62	6.18	12.93	32.20	353.25
Procesos térmicos	11.69	117.63	172.62	—	—	—	301.94
Tracción mecánica	—	—	—	6.18	—	—	6.18
Máquinaria pesada, li- gera y de transporte; motores de combustión interna para generar electricidad	—	—	—	—	12.93	—	12.93
Manejo eléctrico y otros servicios elec- tricos	—	—	—	—	—	32.30	32.20
Transporte	—	—	—	—	269.05	0.39	269.44
Transporte de personas Vía terrestre	—	—	—	—	142.41	0.39	142.80
Transporte de carga. Vía terrestre	—	—	—	—	113.16	—	113.16
Aviones, barcos	—	—	—	—	13.48	—	13.48
Agropecuaria	—	—	—	—	18.21	3.30	21.51
Máquinas agrícolas (tractores, motores es- tacionarios, trillado- ras, etc.)	—	—	—	—	18.21	—	18.21
Bombas de agua	—	—	—	—	—	3.30	3.30
TOTAL	41.43	222.46	172.62	6.18	305.68	58.85	807.22

Usos no energéticos 62.41×10^{12} Kcal.

Gran Total 869.63×10^{12} Kcal.

la electricidad no cogenerada en su base equivalente de combustible, ésto lo logramos dividiendo la cantidad de electricidad comprada a C.F.E. entre 0.30 ya que 30% fue la eficiencia promedio de generación de electricidad en las plantas -- termoeléctricas del país en 1981. Entonces, un perfil más -- realista del uso final de la energía es el que a continua--- ción se muestra:

TABLA 3.24. PERFIL NORMALIZADO DEL USO FINAL DE LA ENERGIA EN MEXICO

	Cantidad (10^{12} Kcal)	Porcentaje (%)
Procesos térmicos:		
<100°C	41.43	4.19
100 - 400°C	222.46	22.51
>400°C	172.62	17.47
Trabajo mecánico	6.18	0.63
Líquidos portables	305.68	30.94
Electricidad	177.29	17.94
Usos no energéticos	<u>62.41</u>	<u>6.32</u>
	988.07	100.0

Una vez establecidos el cuadro 3.15 y la Tabla 3.24 ¿Qué nos están diciendo?. En primer lugar nos están informando de -- cuáles son las tareas específicas en nuestro país que requie ren energía con lo que nos están contestando a la interroga-

tiva ¿Energía para qué?, por otro lado, se nos está diciendo cuánta energía se consume en la ejecución de cada tarea específica con lo cual contestan a ésta otra interrogativa ¿Cuánta energía?, y finalmente, puesto que determinan por rangos la calidad termodinámica que requieren actualmente cada una de las tareas específicas, contestan también a la siguiente interrogativa ¿Qué calidad de energía?. Sin embargo no hay que olvidar que solamente hemos establecido el uso final de la energía de acuerdo al criterio de primera ley y, por tanto, las respuestas que dan el cuadro 3.15 y la Tabla 3.24 a las dos últimas preguntas antes formuladas son más bien exageradas, ya que las liberaciones de entalpía de los combustibles, exceden en mucho a las exergías que necesitan cada una de las tareas específicas para su realización. Por otro lado, las calidades del calor que se necesitan, están fuertemente orientadas hacia temperaturas altas ya que la generalidad de las temperaturas finales de los procesos, corresponden a como comúnmente se realizan dichos procesos, y no están determinados desde el punto de vista de los requerimientos mismos de los procesos y, finalmente, no se distingue si el resto de las formas de las calidades de la energía tal y como aparecen en el cuadro 3.15 y en la Tabla 3.24 son las que debieran de ser para realizar las respectivas tareas específicas. Estas razones nos hacen pensar en que es posible realizar cambios en la estructura del uso final de la energía, de tal manera, que las calidades de la energía sean más

afines a las tareas específicas, así como también se puede sospechar que existe un gran potencial de ahorro y conservación de la energía, producto del gran desligue que existe entre las exergías de los combustibles y las exergías que requieren las tareas específicas. Estas consideraciones se tratarán aún más en el próximo capítulo.

Al ver el espectro termodinámico del uso final de la energía surge otra pregunta, tal vez la más angustiante: ¿Por cuánto tiempo nuestras actuales fuentes de energía, en su mayor parte no renovables, podrán satisfacer este consumo final de energía cuantitativamente cada vez más grande?.

Todas estas preguntas que se derivan de observar el espectro del consumo final de la energía, son las preguntas básicas que todo planeador energético en México debiera formularse para darles óptimas soluciones en un contexto económico, social, ecológico y tecnológico. La presente tesis retoma estas preguntas y desde su inicio, hasta su conclusión trata simplemente de contestarlas lo mejor posible.

4. LOS FUTUROS REQUERIMIENTOS DE ENERGIA

4.1 Introducción

En este capítulo, a fin de vislumbrar mejor las necesidades futuras de energía, se examinará el papel de la energía dentro de la economía. Particularmente será discutida la falacia de la tesis que relaciona el crecimiento económico del país necesariamente con un siempre gran incremento en su consumo de energía.

Posteriormente haremos uso del análisis paramétrico^{20,21}, mé

20 - El método del análisis paramétrico se encuentra ampliamente explicado y aplicado en la ref. cit. (10), pp. -- 31-59.

21 - Una primera aplicación del "análisis paramétrico" para estimar requerimientos futuros de energía para México - puede verse en la ref. cit. (13), pp. 17-26.

todo concebido como una forma alterna para el cálculo de futuros requerimientos de energía, para lo cual será necesario realizar los siguientes tres pasos:

- 1) Serán analizados los patrones corrientes del consumo de la energía en México.
- 2) Se hace una revisión en toda la estructura del sistema energético mexicano, tratando de determinar el potencial de ahorro de energía, actualmente factible por medio de la adopción de medidas de carácter técnico de uso eficiente de la energía.
- 3) Se hacen consideraciones para México, respecto al crecimiento de población y a un aumento en el uso de la energía por grupo social que refleje mejoras en el nivel medio de vida.

Como resultado final, se establecieron una serie de escenarios futuros de energía factibles de transitar, los cuales muestran, entre otras, la posibilidad de satisfacer nuestras necesidades futuras de energía con relativamente pequeños aumentos de energía.

Al mismo tiempo se incorporarán cambios estructurales deseables que muestren una mejor afinidad entre las tareas especí

ficas y las calidades de la energía, lo que redundaría, sin duda alguna, en un uso más eficaz de la energía.

4.2 Energía y Economía^{22,23}

El uso de la energía es un factor importante en la economía a varios niveles. Hace posible la extracción, procesamiento y manufactura de materiales en productos terminados, y permite, finalmente, el transporte y distribución de estos productos al consumidor. En los últimos 40 años el crecimiento de la economía ha estado acompañada por un crecimiento sostenido del consumo energético. Esta cercana correlación ha sugerido en México una conexión rígida entre crecimiento económico y consumo energético.

No obstante del papel vital que juega la energía dentro de la economía, ésta no permanece como una entidad independiente. A fin de proveer servicios útiles, la energía debe ser utilizada en conjunción con trabajo humano, materiales y tecnología. Por otro lado, la cantidad y calidad de los servicios que se proveen, así como de los bienes manufacturados, no están ni determinados ni limitados solamente por la energía de entrada. Por el contrario, la productividad de la --

22 - Ver ref. cit. (10), pp. 24-26

23 - Ver ref. cit. (13), pp. 13-16.

energía es una cantidad variable capaz de responder a condiciones cambiantes. Por tanto, la interdependencia entre crecimiento económico y consumo energético no es tan cercanamente fuerte como mucho se cree generalmente.

La economía mexicana ha observado un abundante suministro de hidrocarburos, trayendo como consecuencia que casi toda la economía depende de un peligroso monoconsumo de energía que amenaza su continuidad por el hecho de ser un energético no renovable. Este excesivo incremento en el suministro de hidrocarburos ha propiciado el abuso y el derroche del energético en los sectores Transporte, Pémex, e Industrial, a quienes la "modernización" del país ha interesado como prioridad en el desarrollo nacional, motivando su impulso a través de una política de subsidios que hacen que la energía tenga un costo muy por debajo de sus precios de mercado internacionales.

Así pues, el potencial de ahorro de la energía en México debe ser alto, bajo condiciones económicas que propician un uso irracional de la energía. Menos consumo de energía no significa menor crecimiento económico, por lo contrario hay medidas a corto y largo plazo que, de adoptarse, permitirían mayor eficacia en el uso de la energía, lo cual no tiene porqué incidir adversamente en nuestra economía.

Ciertamente la economía mexicana debe crecer en el futuro -- cercano expandiendo su demanda de energía, sin embargo esta demanda deberá ser satisfecha más por un uso eficiente de -- los recursos en las refinerías, termoeléctricas, en el trans

porte, etc., que por una expansión de nuestras plataformas - petroleras.

Un uso más eficiente de la energía no solamente ahorra energía, también ahorra capital, pues, en un momento dado, es -- más barato reducir la demanda de energía a través de un uso -- más eficiente de la misma que incrementar el suministro en -- el grado correspondiente, lo cual puede dar por consecuencia el desarrollo de equipos y procesos orientados al ahorro --- energético, quienes en su turno, substituirían energía y capital por labor en los servicios y procesos.

Dos aspectos igualmente importantes que se derivan de un programa de uso eficiente de la energía son: una reducción en la contaminación ambiental, porque a menor uso de energía, - menor producción de contaminación y ganancia de tiempo adicional para apreciar mejor las fuentes alternas de energía que substituirán en su tiempo a nuestros cada vez más mermados - hidrocarburos.

4.3 *Los Futuros Requerimientos de Energía: La Aproximación Convencional*^{24,25}

La gran mayoría de las técnicas de uso actual para proyectar

24 - Ver ref. cit. (10), pp. 27-30

25 - Ver ref. cit. (13), pp. 17

requerimientos futuros de energía se caracterizan por sobreestimar la relación de crecimiento económico-energía. En particular, destacan las extrapolaciones de las razones históricas del crecimiento del consumo de la energía, las cuales, aún, hoy en día, constituyen la base de la mayor parte de las proyecciones de los consumos futuros de energía formalmente hechos por las instituciones oficiales y la iniciativa privada en nuestro país. En la mayor parte de las veces, un primer resultado de confiar en modelos extrapolativos, es que, un incremento de carácter exponencial, es automáticamente construido dentro de las futuras proyecciones de demanda de energía, sin embargo, crecimiento de carácter exponencial en un mundo finito como en el que vivimos no tienen razón de ser. Un claro ejemplo de estas fallas es el provisto por las proyecciones para 1990 de la oferta de energía en los sectores petrolero y eléctrico, dadas en "El Plan Nacional de Desarrollo Industrial 1979-1982". La Tabla 4.1 muestra los crecimientos porcentuales anuales y por período de dichas proyecciones.

TABLA 4.1.

PROYECCION BASE

SECTOR	75/70	78/77	79/78	80/79	81/80	82/81	85/82	90/85
Petrolero	6.3	36.5	38.0	22.9	19.2	5.8	3.3	3.9
Eléctrico	5.9	9.0	10.0	9.7	9.1	10.6	10.5	10.3

PROYECCION DEL PLAN

SECTOR	75/70	78/77	79/78	80/79	81/80	82/81	85/82	90/85
Petrolero	6.3	36.5	38.3	24.6	22.0	8.9	6.7	8.3
Eléctrico	5.9	9.0	9.9	11.1	12.5	14.7	14.5	14.0

FUENTE: Programa Nacional de Desarrollo Industrial. México, (1976).

La "proyección base" es una falsa extrapolación de las tendencias históricas de la demanda de energía; la otra, "proyección del Plan", es una extrapolación inspirada en el "crecimiento acelerado" provocado por la exportación masiva de petróleo crudo, es decir el escenario es consecuencia de la euforia del "boom" petrolero.

Un breve análisis muestra lo absurdo que surge en una proyección a corto plazo (año 2000). De acuerdo a estas extrapolaciones, consideremos sólo al sector eléctrico y determinemos su proyección de oferta de energía para el año 2000, según el escenario "proyección del Plan", considerando un 14% de razón de incremento determinado del previo corto periodo --- 1985-90; se deduce (ver fig 4.1) que para el año 2000 deberán ser generados 900 TWh. Recientes estimaciones²⁶ consideraran como suficientes para el año 2000 una generación total -

26 - "Proyección baja" de C.F.E. (1984)

de electricidad de 230 Twh.

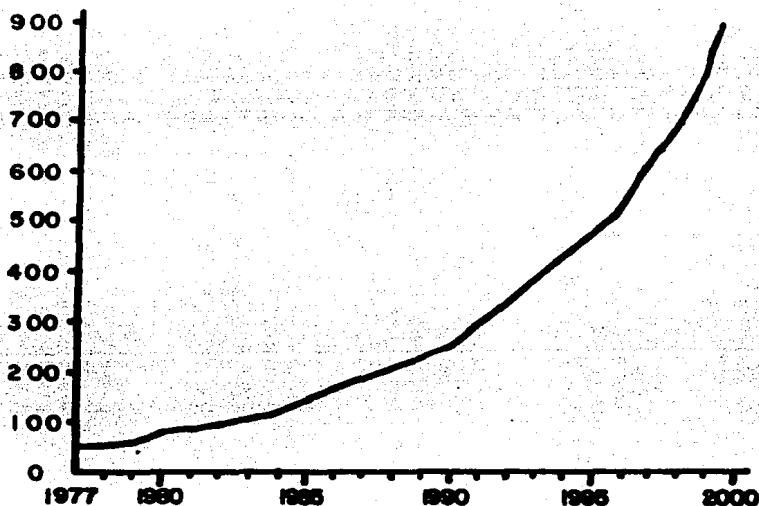


Figura 4.1. "Proyección del Plan". Programa Nacional de Desarrollo Industrial, México (1976). Proyección de tipo convencional.

4.4 Los Futuros Requerimientos de Energía: La Aproximación Alternativa^{27,28}

El modo alternativo de estimar los requerimientos futuros de energía es propiamente una estimación semicuantitativa, es decir, no se pretende alcanzar un alto grado de precisión -

27 - Ver ref. cit. (10), p. 27-59

28 - Ver ref. cit. (13), pp. 17-26

que a largo plazo pierda significado, más bien, ofrece una visualización cuantitativa de metas políticas deseables que debieran ser alcanzadas en el futuro. De acuerdo a lo anterior, lo más que se puede hacer es sugerir la magnitud general de la demanda futura de energía bajo un conjunto establecido de suposiciones explícitas.

Este proceso alternativo muestra que es factible satisfacer las necesidades futuras de energía con bastante menos energía que las estimadas por los modos convencionales de extrapolación.

La presente estimación establece a la energía como función de tres variables: uso eficiente de la energía, consumo de energía por grupo social y magnitud de la población. Dadas las prevalecientes incertidumbres que se tienen siempre al hablar sobre el futuro, se ha convenido en establecer diversos escenarios de necesidades futuras de energía y no sólo un sólo un punto singular. Así, entonces, se ha supuesto un rango de valores para cada una de las variables relevantes mencionadas arriba.

A fin de ser consistentes con el capítulo anterior se ha elegido también al año de 1981 como el "caso base". Para este año las consideraciones son hechas respecto a los porcentajes de energía que hubiese sido posible ahorrar si se hubie-

se usado más eficientemente la energía, también se considera a corto y largo plazo el porcentaje de aumento en la población respecto a la de ese año. Y a fin de incorporar mejoras hipotéticas en el nivel medio de vida se introducen porcentajes de aumento en el consumo de la energía con respecto a la de 1981.

Por último se ha supuesto un período de transición que tenga por objeto una reconversión hacia tecnologías más eficientes, y una substitución de energéticos no renovables por renovables de la manera más ampliamente posible.

Este período de transición abarcaría hasta el año 2030. Si bien la elección de este año es arbitraria, es importante tenerlo presente ya que en sus inmediaciones se estima el agotamiento de nuestros hidrocarburos.

4.4.1 Patrones corrientes del uso de la energía en México

En el capítulo anterior aproximamos cuál es probablemente el espectro termodinámico del uso final de la energía en México, y sobre éste, un primer análisis fue hecho al final del referido capítulo. Ahora sólo pretendemos utilizar los resultados que consideramos importantes para llevar a cabo nuestro modelo.

Así en resumen podemos decir que las Tablas 4.1 y 4.2 muestran los perfiles que definen el consumo final de la energía en México: el consumo de la energía por sectores y el consumo por forma y calidad de la energía. En estos dos perfiles se ha expresado a la electricidad en su base equivalente de combustible (B.E.C.) por razones que ya explicamos anteriormente.

TABLA 4.1. CONSUMO FINAL DE LA ENERGIA POR SECTORES, 1981

	ENERGIA TOTAL (10^{12} Kcal)	PORCIENTO DE EL TOTAL	PORCIENTO DE ELECTRICIDAD (B.E.C.)
R.C.P.**	216.59	21.92	35.34
Industrial***	409.51	41.45	21.60*
Transporte	270.35	27.36	0.48
Agropecuario	29.21	2.96	37.66
Consumo no energético	<u>62.41</u>	<u>6.31</u>	<u>---</u>
	988.07	100.0	---

* En este porcentaje está incluida la electricidad cocgenerada, sin embargo ésta no fue considerada en la B.E.C.

** Incluye el consumo doméstico rural estimado de leña.

*** Dentro de este sector se encuentra incluido el autoconsumo propio de Pemex, el consumo de bagazo de la Industria Azucarera y el consumo de leña de la incipiente industria del sector rural.

TABLA 4.2. CONSUMO FINAL DE LA ENERGIA POR FORMA Y CALIDAD, 1981

	CANTIDAD (10 ¹² Kcal)	PORCIENTO DE EL TOTAL
Procesos Térmicos:	456.51	44.17
<100°C	41.43	4.19
100 - 400°C	222.46	22.51
>400°C	172.62	17.47
Trabajo mecánico	6.18	0.63
Líquidos portables	305.68	30.94
Electricidad (B.E.C.)	177.29	17.94
Usos no energéticos	<u>62.41</u>	<u>6.32</u>
	988.07	100.00

4.4.2 El potencial de ahorro de la energía en México

La poca afinidad entre las fuentes de energía y las tareas específicas demandantes de energía es la principal causa que desde el punto de vista físico provoca grandes pérdidas de energía. Esta falta de afinidad se manifiesta en el número de conversiones a que tiene que someterse un energético, para finalmente, ser "útil". Hay que tener en cuenta asimismo las grandes distancias que existen entre las fuentes de energía, los centros de conversión y los centros de consumo de la energía. A consecuencia de todo esto es que existen grandes pérdidas de energía en el trayecto que empieza en --

donde se localizan las fuentes de energía hasta los centros de consumo final de la misma. Un ejemplo claro de esto, es el de la electricidad, en la que el 70% del contenido energético del combustible que se dedica para producirla se pierde en los procesos de conversión y distribución. Y todo esto sin contar las pérdidas del contenido energético original de los hidrocarburos en su estado bruto hasta que se convierten a combustible.

A las pérdidas anteriores habría que añadir otras no menos importantes, mismas que se dan en el punto de aplicación en una estufa de casa para la cocción de alimentos, cuando la electricidad es convertida en luz en una lámpara, etc.

Evaluar, con ayuda de estimaciones, estas pérdidas en el sistema energético mexicano así como su potencial practicable de ahorro de energía son las finalidades de esta subsección.

A continuación evaluaremos las pérdidas totales de energía en México de acuerdo a la eficiencia de primera ley. Consideremos primero el caso de la energía comercial, de acuerdo al balance nacional de energía de 1981; las pérdidas de energía comercial que suceden entre la extracción, y el consumo final suman 371.247×10^{12} Kcal²⁹ mismas que representan ---

29 - Véase Tabla 4.5 de ésta tesis.

aproximadamente un 32% del total de energía de entrada³⁰. - Por otro lado se estima las pérdidas de energía en el consumo final y el trabajo útil de la misma como se muestra a continuación:

TABLA 4.3. UTILIDAD Y PERDIDAS DE LA ENERGIA EN EL CONSUMO FINAL, 10¹² Kcal, 1981

SECTOR	PERDIDAS	TRABAJO UTIL	PORCENTAJE DE ENERGIA UTILIZADA
RCP	22.304	66.912	75%
Industrial	51.247	153.749	75%
Transporte	202.770	67.359	25%
Agropecuario	16.139	5.379	25%
Energético*	44.350	103.550	70%
Usos no energéticos	---	43.550	--
	336.810	440.449	

FUENTE: Schutz, Fernando. "Uso Eficiente de la Energía en México", I.I.E., México (1982)

* Estimación propia

Es decir, de acuerdo a ésta tabla del total de energía de entrada (1148.506 x 10¹² Kcal), únicamente el sistema convier-

30 - Esta energía de entrada comprende lo que se denomina en los balances de energía como oferta interna bruta más la energía no aprovechada y su suma, de acuerdo al balance nacional de energía de 1981, es de 1148.506 x 10¹² Kcal.

te la cantidad de 440.449×10^{12} Kcal en trabajo útil. Esto nos lleva a establecer que la eficiencia del sistema energético mexicano, considerando sólo a la energía comercial, es de aproximadamente 38%. Esto se ilustra en la figura 4.2.

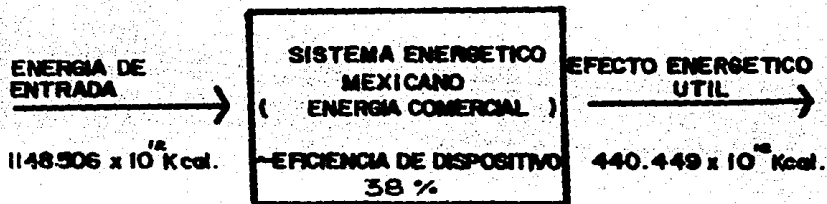


Figura 4.2. El sistema Energético Mexicano visto como un - Dispositivo.

Si se toma en cuenta a la energía no comercial la eficiencia baja aún más, ya que usualmente estos energéticos son usados con eficiencias muy bajas. La Tabla 4.4 muestra una estimación del trabajo útil y pérdidas en el consumo final de estos energéticos.

TABLA 4.4. EFICIENCIA DEL CONSUMO FINAL DE ENERGETICOS PRIMARIOS, 10^{12} Kcal, 1981.

ENERGETICO	PERDIDAS	EFFECTO ENERGETICO UTIL	PORCENTAJE DE ENERGIA UTILIZADA
Leña ³¹	67.450	5.080	7%
Bagazo ³¹	<u>9.290</u>	<u>11.380</u>	55%
	76.740	16.460	

EFICIENCIA DE PRIMERA LEY: 17.66%

FUENTE: Estimación propia

Del cuadro anterior se estima una eficiencia de 17.66%, lo que puede sugerir del enorme potencial de ahorro de energía de éstos energéticos renovables. La eficiencia total de primera ley se calcula a continuación:

	ENERGIA DE ENTRADA	EFFECTO ENERGETICO UTIL
ENERGIA COMERCIAL	1148.506×10^{12} Kcal	440.449×10^{12} Kcal
ENERGIA NO COMERCIAL	<u>93.200×10^{12} Kcal</u>	<u>16.460×10^{12} Kcal</u>
	1241.706 Kcal	456.909 Kcal

31 - Para la leña se está utilizando la máxima eficiencia - (7%) de los "fogones" hechos con tres piedras donde se presume se consume la mayor parte de leña. Para el bagazo se está utilizando la eficiencia (55%) de consumo del bagazo en la industria azucarera. Se sugiere ver - ref. cit. (8), "Industria Azucarera" y "Sector Rural".

EFICIENCIA DE PRIMERA LEY: 37%

Este resultado nos afirma que un poco menos de las dos terceras partes de la energía primaria para consumo nacional son derrochadas. Esto sólo considerando la eficiencia de primera ley. Un resultado más dramático se obtendría al estimar la eficiencia de segunda ley; en efecto, en 1976 para los -- USA se estimó esta eficiencia en 8%,³² cuando su eficiencia de primera ley se estimaba en 36%, lo que nos lleva a pensar que para México en 1981 su eficiencia no debe rebasar el 9%. Obviamente, como ya sabemos, no es posible alcanzar una eficiencia de segunda ley del 100%, pero se ha estimado, para -- el caso de USA, valores practicables de 20 a 25%, que en --- principio, podrían ser ciertas también para nuestro país, y -- de ser así, existen posibilidades de incrementar en más del -- 100% el uso eficiente de la energía en México actualmente.

Hay dos estrategias básicas para ahorrar energía. Una es a través de medidas y/o mejores técnicas para reducir el uso -- o conservar la energía y que no involucra cambios en los ser vicios que nos aporta la energía, ejemplo de estos son: incrementos de las eficiencias de los focos, ollas, automóviles, hacer uso de sistemas de cogeneración, de aislantes térmicos en las tuberías, etc. La otra estrategia es que involucra cambios en modalidades y en los patrones de consumo --

32 - Esta y las demás cifras para USA se encuentran citadas en la ref. cit. (10), página 35.

tradicionales de energía para reducir la necesidad de la --- energía, por ejemplo: mayor uso de transporte público, uso de artículos de menor consumo de energía, reciclaje de materiales, mayor uso de trenes de carga, etc. El potencial de ahorro de energía que generan es enorme; y lo que debe quedar claro es, que estas medidas, no causan que baje el nivel medio de vida, por lo contrario tiende a aumentar la calidad de la misma pues estas medidas contribuyen mucho a reducir los índices de contaminación.

Un programa de ahorro de energía es bastante más rico de lo que uno puede imaginar, es en sí mismo, una "fuente" de energía. Pensemos solamente que la "energía no aprovechada" en 1981 (74.95×10^{12} Kcal), o sea la de los hidrocarburos que se quema en las plataformas marinas, es casi igual, en magnitud, a la que consume un gran sector de población rural (18 000 - 000 de Hbs.), en forma de leña para satisfacer sus necesidades. El potencial de energía que se perdió entre la extracción y el consumo final fué equivalente a la que se aprovechó en todos los sectores en el consumo final. Pero no nada más esto, un programa de ahorro de energía implica también ahorro de cientos de millones de dólares³³ en la compra en el mercado interno nacional de energéticos, pudiéndose liberar éste dinero para la compra de tecnología ahorradora de -

33 - Para mayor detalle se sugiere ver ref. cit. (8)

energía y otros fines "prioritarios".

En la sección que sigue se dará una serie de datos provenientes de toda la estructura energética mexicana e incluso del punto de aplicación final de la energía que justifican las consideraciones de ahorro de energía que se van a integrar a nuestro modelo. Todos los datos provienen de consideraciones de incorporar medidas esencialmente de carácter técnico³⁴ actualmente aplicables, por lo que, las estimaciones de ahorro de energía que emergerán, son conservadoras ya que hace caso omiso de medidas que se proyectan aplicables en un futuro, y, además, también se ignora, el potencial de ahorro de energía-casi no considerado actualmente en los estudios de ahorro de energía en México debido a la aplicación de medidas del segundo tipo.

4.4.2.1 El potencial practicable de ahorro de la energía en el Sistema Energético Mexicano

Entre la extracción y el consumo final de la energía existen grandes pérdidas de energía que, de ser enfrentadas, se produciría un gran potencial de ahorro y conservación de energía. En orden decreciente estas pérdidas son:

34 - Solo para el sector Agropecuario y de Transporte se introducen algunas medidas del otro tipo.

TABLA 4.5.

Concepto de pérdida:	P E R D I D A S	
	10 ¹² Kcal	Porcentaje
Centrales eléctricas	135.821	36.59
Transformación en plantas de gas y refinerías	79.902	21.52
Energía no aprovechada	74.949	20.19
Manejo de petróleo crudo	44.110	11.88
Manejo de petróleo refinado	21.395	5.76
Redes eléctricas	7.538	2.04
Manejo de gas	6.104	1.64
Otras pérdidas	<u>1.428</u>	<u>0.38</u>
	371.247	100.0

FUENTE: SEPAFIN, Balance Nacional de Energía de 1981.

Los siguientes datos³⁵ muestran el gran potencial de ahorro y conservación que existe alrededor de estas pérdidas. Para las centrales eléctricas se estima, que si se aumentara su eficiencia global de 29.24% (México, 1981) a 36% (Francia, 1976), el ahorro de energía representaría un 17%. Haciendo uso de sistemas integrados de cogeneración industrias-centra

35 - Todos los datos que a continuación se van a dar es-----
tan citados en la ref. cit. (17), Cap. 2.

les eléctricas se llegaría a operar con eficiencias de 55% a 70%, lo que representa un ahorro enorme de energía.

El ahorro de energía que representa disminuir pérdidas en la conversión en plantas de gas y refinerías es muy grande, basta decir que se estima un ahorro de 40% si se hiciese uso de dispositivos de optimización de sistemas de vapor. También cabe señalar que haciendo uso de precalentadores de aire se mejoraría la eficiencia en un 10% o 15%.

Actualmente existen programas tendientes a eliminar la energía no aprovechada que es gas que se quema en las plataformas petroleras marítimas, también se pretende disminuir el resto de pérdidas que suceden en el transporte, distribución y almacenamientos de energéticos. Estas medidas van desde las que son técnicas hasta las administrativas, y representan un gran potencial de ahorro energético.

Sector Residencial Comercial y Público³⁶

La mayor parte de enseres menores y mayores y utensilios de cocina en el subsector residencial, y diversos dispositivos eléctricos de uso en el subsector comercial y público se hacen día a día cada vez más eficientes. Algunos ejemplos que

36 - Los datos que en esta subsección se citan fueron tomados de la ref. cit. (8), Sector RCP.

ilustran el potencial de ahorro de estas mejoras tecnológicas son los siguientes:

Iluminación. En México el sistema de iluminación opera con base en lámparas incandescentes de muy baja eficiencia, se estima que su eficiencia es cuatro veces menor que la de lámparas fluorescentes, y hasta ocho veces menor que las de radio a baja presión.

Refrigeradores. La introducción de innovaciones tecnológicas en los refrigeradores ha permitido que su consumo eléctrico disminuya en Japón de 42 KWh/mes a 24 KWh/mes no obstante que está aumentando el uso de refrigeradores de volumen creciente. Se ha estimado un ahorro en México de 42% en cuanto a consumo eléctrico de refrigeradores si se incorporasen innovaciones tecnológicas.

Televisores. El uso de televisores más eficientes, de acuerdo a las actuales tendencias de producción de éstos en los países industrializados, representa un gran ahorro de energía. Para México se estima que si sólo la mitad de los televisores, incorporasen mejoras tecnológicas, el potencial de ahorro de su consumo de energía se reduciría a la mitad.

Sector Industrial

El potencial de ahorro en el sector industrial es muy grande como a continuación veremos. Las siguientes industrias puestas en orden decreciente a su consumo de energía son hasta ahora las más estudiadas y en todas ellas existe un gran potencial de ahorro de energía.

RAMA	Participación en el consumo industrial de energía comprada. -- (1981)
Siderúrgica	27.1%
Química	11.1%
Cemento	10.1%
Minero-metalúrgica	8.5%
Azúcar*	4.9%
Celulosa y papel	4.3%
Vidrio	3.2%
Alimentos y bebidas	<u>1.9%</u>
	71.1%

FUENTE: SEPAFIN, Censo Nacional sobre el Consumo de la Energía en la Industria" México, (1981).

* No se incluye el consumo de bagazo, de lo contrario su participación sería considerablemente mayor.

El potencial de ahorro se estima a partir de la comparación

entre los consumos específicos de energía de las diferentes ramas en la elaboración de sus productos y sus análogos más eficientes internacionales.

Industria siderúrgica. El siguiente cuadro muestra el potencial de ahorro en las distintas etapas del proceso siderúrgico.

TABLA 4.6

ETAPA	CONSUMO ESPECIFICO		POTENCIAL DE AHORRO (%)
	Kcal x 10 ⁶ /ton		
	México	Internacional	
Peletizado		0.17	
Sinterizado	0.75	0.45	40
Alto horno	4.52	3.00	35
Fosas de recalentamiento	0.50	0.30	40
Horno de recalentamiento	0.60	0.50	17
Horno de recocido	0.25	0.20	20
Reducción directa	5.0	3.50	30
Horno eléctrico	0.56	0.48	15

FUENTE: Schutz, Fernando, "Uso Eficiente de la Energía en México", Instituto de Investigaciones Eléctricas, México (1982), Cap. IV.

Si comparamos el consumo específico en México (7.25×10^6) ----

Kcal/Tn de acero laminado) con el de Japón (4.25×10^6 Kcal/ - Ton de acero laminado), se deduce un potencial de ahorro de 41.37% en el proceso global.

Cemento³⁷. En el plano internacional el consumo específico medio del cemento portland puro y portland con extensores -- (de acuerdo a la producción en México), es de 821 Kcal/kg, - mientras que en México en 1981 era de 1103 Kcal/kg, de lo -- cual se deduce un ahorro de 26%.

Industria azucarera³⁷. Un potencial de ahorro de 40% se deduce al comparar el consumo específico de la producción azucarera en México, alrededor de 10,000 Kcal/kg, con la internacional que es de 6 000 Kcal/kg.

Industria del vidrio³⁸. El ahorro de energía se estima en - un 26.7% si se compara el consumo específico en México ---- (6.0×10^6 Kcal/Tn de vidrio) con el consumo a nivel interna cional (4.4×10^6 Kcal/Tn de vidrio).

Industria de la Celulosa y Papel³⁹. En México la industria de la celulosa y papel presenta los siguientes consumos espe

37 - Los datos que a continuación aparecen están tomados de ref. cit. (8), Sector Industrial

38 - Los datos que a continuación se citan fueron tomados de la ref. cit. (17), Anexo IX.

39 - Ver nota 37

cíficos estimados:

6.56×10^6 Kcal/Tn de celulosa, y

3.30×10^6 Kcal/Tn de papel

mientras que a nivel internacional son:

4.5×10^6 Kcal/Tn de celulosa, y

2.3×10^6 Kcal/Tn de papel

Entonces los potenciales de ahorro son:

31.4% en celulosa, y

30.3% en papel.

Industria química⁴⁰. Debido a la estructura tan amplia de procesos y productos y la información limitada, es difícil hacer una comparación de consumos específicos de los productos nacionales con los análogos internacionales, sin embargo se estima un potencial de ahorro aplicable de 20% a 25%.

El potencial de ahorro aumenta si consideramos que la indus-

40 - Los datos que se citan fueron tomados de la ref. cit. - (17). Anexo V.

tria tiene mucha capacidad para cogenerar³⁹ energía. Se estima que la industria siderúrgica puede autosatisfacer sus - necesidades de energía eléctrica en una tercera parte, la in - dustria celulosa y papel, y la química pueden hacer lo mismo en un 50%. Mientras que la industria azucarera puede autosa - tificarse en energía en un 100% y enviar sobrante a la red - eléctrica. Hay que considerar también que en México hay oca - siones que en una misma planta existen diferencias de 100% - en los consumos correspondientes a la elaboración de un mis - mo producto como en el caso de la industria química(8). En - tre distintas empresas que fabrican un mismo producto exis - ten grandes diferencias en el consumo específico de la ener - gía, como el caso de Celanese y otra industria que produce - la misma fibra sintética, la segunda consumió 45% más de --- energía. Sucede también casos como el siguiente, en las in - dustrias de la celulosa y papel algunas en buena medida se - autosatisfacen en sus necesidades de energía eléctrica, mien - tras que otras compran el 100% de la energía eléctrica que - necesitan. Estas grandes diferencias también muestra el --- enorme potencial de ahorro de energía que existe en este sec - tor.

Sector Agropecuario⁴¹. En este sector se estima un poten---

39 - Ver nota 37.

41 - Ver ref. cit. (8), Sector Rural

cial de ahorro de 69.58%, de tomarse medidas que puedan dar un uso más eficiente en la maquinaria agrícola consumidora - de diesel y kerosinas, de la introducción de nuevos métodos de labranza que permitan sembrar con un mínimo de remoción de suelo, de tiempo y de trabajo para las operaciones de cultivo, de medidas en el riego en las que el consumo de hidrocarburos y electricidad sean más eficientes, como riego por goteo y aspersión, y de sistemas de canales con los que se obtenga una distribución más eficiente de agua, etc.

Sector energético⁴². Pemex en la elaboración de su plan de ahorro y conservación de la energía prevé un ahorro en su -- autoconsumo propio de 18% para 1990 y 35% para el año 2000, -- sin embargo el potencial aún puede ser mayor. Se considera, por ejemplo, que si la eficiencia global de nuestras refineras (80.2%) alcanzase la eficiencia a nivel internacional de 92% existiría un potencial de ahorro en el autoconsumo de combustible del 60%. También muy notoria es la capacidad para cogenerar de Pemex. Se estima que para la capacidad de -- producción de 1200 000 barriles/día, existe un potencial --- eléctrico de 4 400 MW.

Energía no comercial

Leña⁴³. Se estima para la leña un potencial de ahorro de --

42 - Los datos que a continuación se citan fueron tomados de la ref. cit. (8), Subsector Hidrocarburos.

43 - Ver ref. cit. (8), pp. 344-345.

69.0% con la introducción de estufas tipo lorena, construídas con materiales locales que aumenta la eficiencia de cocción y calentamiento de agua de 2 a 4 veces con relación al sistema tradicional.

Bagazo⁴⁴. De alguna manera ya se ha contemplado su potencial de ahorro cuando hablamos de la industria azucarera donde el bagazo es el principal combustible. Sin embargo damos un dato más específico para el bagazo el cual, nos muestra su potencial de ahorro: en México se obtiene 1.56 kg de vapor/kg de bagazo mientras que en otros países se obtiene 2 kg de vapor/kg de bagazo lo que representa un potencial de ahorro de 28.21%.

Sector transporte⁴⁵. En este sector se estima reducciones en el consumo de energía de 27.8% en el transporte particular, 10.4% en el transporte colectivo y una transferencia de 30% del transporte particular al colectivo redundaría en una mejora en la eficiencia energética del transporte de pasajeros de 47%. Transferir la carga actual que se mueve en camiones a ferrocarril daría un ahorro energético de 40%.

De acuerdo con éstos datos es fácil ver y decir, que existe-

44 - Idem, Sector Industrial (Industria Azucarera)

45 - Ver ref. cit. (17), pp. 26-30.

en México un potencial aplicable de ahorro de energía del -- 50% sin exageración y, más aún, si establecemos alcanzarlo -- hacia las proximidades del año 2030 como se trata en el mode lo.

4.4.3 Población y nivel medio de vida

Determinar la futura población de México es una tarea incier ta. En la década de los setenta la población tuvo un creci- miento anual que oscilaba entre 3.3%⁴⁶ y 3.5%⁴⁶, sin embargo- este crecimiento no pudo ser sostenido. Las estimaciones⁴⁶ - para 1983 reportaban un crecimiento anual de 2.8%. En 1986, se estimó⁴⁷ un crecimiento en 2.1%, y organismos oficiales⁴⁷ han fijado como meta, reducir al 1.9% el crecimiento de po- blación en un lapso de 2.5 años, y hacia el año 2000, llegar a un crecimiento anual de 1%. De lograrse ésto se estima te ner, hacia inicios del siglo entrante, una población de 100- millones de personas, a diferencia de las proyecciones de -- años anteriores que estimaban una población, para el mismo - periodo, de 130 millones de personas.

En nuestro modelo, a fin de encerrar lo más posible las in-- certidumbres, consideraremos dos escenarios de crecimiento -

46 - Según el Consejo Nacional de Población (CONAPO)

47 - CONAPO, SSA

de población uno bajo y otro alto, tal y como se muestra en la Tabla 4.7.

TABLA 4.7. ESCENARIOS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACION, 10⁶ Habs.

ESCENARIO	AÑO 2005	PORCENTAJE*	AÑO 2030	PORCENTAJE
Bajo	100	40	126	77
Alto	130	83	178	150

* Los porcentajes representan aumentos porcentuales de población respecto a la de 1981 estimada en 71 x 10⁶ Habs.⁴⁸

Un estudio que relaciona el nivel de ingreso y el gasto en energía hecho para el año de 1977 (ver Anexo 1) refleja que el consumo de energía (comercial) es sumamente desigual en México. En ese año el 40.8% del total de familias, las de más bajos ingresos, gastaron en consumir energía un poco menos que el gasto correspondiente al de un 5.7% del total de familias, que constituyen el grupo de familias con mayores posibilidades económicas. Si a esto añadimos que en general las familias más empobrecidas, son también las más numerosas; es de esperarse, que el uso per cápita de energía entre los integrantes de estos dos grupos de familias tenga una notable diferencia.

48 - Según SPP, INECI y CONAPO la población en 1981 era de 71,249,069 habitantes.

La tabla 4.8 muestra la posible distribución del consumo de energía por familia y grupo social, hecha en función directa del gasto para consumir energía. Se han elegido cuatro grupos sociales que acusan marcadas diferencias en sus gastos de consumo energético. El uso relativo de energía en realidad es un indicador económico y está determinado como un promedio del gasto en energía para cada grupo social el cual, posteriormente, se estableció como una cantidad fraccionaria respecto al promedio respectivo del grupo económicamente poderoso.

TABLA 4.8. CONSUMO DE ENERGIA POR FAMILIA Y GRUPO SOCIAL

GRUPO	Nivel de Ingreso Semestral	Porcentaje del total	Uso Relativo de Energía
Pobres	<14 401	40.8	.12
Media baja	14 401-45 000	42.1	.27
Media alta	45 001-80 400	11.4	.58
Ricos	>80 400	5.7	1.0
		100.0	

Evidentemente ésta distribución en el consumo de la energía se ha agudizado con el correr de los años, sin embargo, para efectos del modelo, consideraremos ésta distribución válida para 1981.

Para el modelo deseamos considerar las siguientes distribu--

ciones del consumo de energía a futuro: (1) El presente -- uso relativo de energía permanece igual. (2) El uso relativo de energía de los pobres alcanza a la de la clase media - baja permaneciendo el resto igual. (3) El uso relativo de energía de los pobres y de la clase media baja alcanza a la de la clase media alta permaneciendo el de los ricos igual. El caso en la que los tres primeros grupos alcanzan el uso - relativo de energía de los ricos no se considera por considerarse como derrochante y goloso. El primer caso representa un incremento nulo en el consumo total de energía, el segundo caso equivale a un 22% de incremento y el tercer caso a un 111%. A cada uno de estos casos les denominaremos caso - corriente, intermedio y moderado respectivamente.

Debe de ser claro que en este trabajo no se pretende hacer - ver como lograr tales cambios en el consumo de la energía en tre los grupos sociales mencionados, sino que su único objetivo es determinar cuanta energía se necesitará si en el futuro tales cambios ocurriesen.

4.4.4 El periodo de transición

Dos grandes problemas amenazan al país: (I) se tiene un -- sistema energético ineficiente casi totalmente dependiente - de hidrocarburos y, (II) el agotamiento de estos recursos - hacia el año 2030; entonces, es evidente que un programa de-

diversificación de fuentes de energía aunado a otro de ahorro de energía deben ser prioritarios. Sin embargo, si el resultado último de estos programas es un sistema energético, más eficiente, pero apoyado primordialmente en fuentes energéticas no renovables, sólo le habremos dado vuelta al problema original. De aquí que sólo un sistema energético que se sustente en fuentes renovables de energía es el único que garantiza la continuidad de nuestra sociedad. Desde esta óptica las fuentes no renovables se conciben como energéticos de transición y el programa de ahorro de energía juega un papel muy importante al alargar lo más posible este período. Si bien los planteamientos de ahorro de energía a largo plazo se estiman en un 50%, es necesario estimar en el corto plazo qué avances se puedan tener. Se estima a corto plazo un potencial de ahorro bajo del 20%, y otro alto del 30%. Mientras que a largo plazo son hechas dos estimaciones: una baja de 30% y otra alta de 50%.

Estas estimaciones junto con las dadas, respectivamente, para los otros dos parámetros: población y aumentos en el consumo de energía por grupo social nos dan la posibilidad de establecer escenarios, en principio, transitables, a corto y largo plazo. Esto se verá a continuación.

4.4.5 Cambios estructurales en el uso final de la energía y estimación de los futuros requerimientos de energía

Antes de llevar a cabo los cálculos para hacer ésta estimación, es instructivo señalar "grosso modo" la distribución a futuro de la energía en el uso final por calidad, forma y -- por sector de consumo. Como dijimos previamente, las calidades termodinámicas del calor de uso actual están fuertemente orientadas hacia temperaturas altas, por lo que, consideraciones en favor de calidades de calor a bajas temperaturas -- son introducidas. Debido a la carencia de electricidad de -- un sector grande de población y a la conveniencia de electrificar el transporte público en las grandes ciudades del país la oferta de electricidad deberá de aumentar en el futuro, -- no obstante, se deberán de corregir actuales usos inapropiados de electricidad⁴⁹, no alentándolos en el futuro y favorecer el uso de procesos térmicos. Asimismo se observa como -- benéfico, en el sector transporte, una disminución proporcional de combustibles líquidos debido a un menor uso del automóvil particular y del transporte de carga por carretera --- siempre considerando un posible aumento del transporte público y del transporte de carga por ferrocarril. Bajo estas -- condiciones los procesos térmicos⁵⁰ deberán cubrir aproxima-

49 - Calefacción eléctrica, hornos eléctricos, tostadores -- eléctricos, estufas eléctricas, etc.

50 - Se incluye el trabajo mecánico cogenerado con vapor

damente la mitad de la energía de uso final, mientras que la electricidad deberá cubrir el 23-29 por ciento de la cantidad referida. Los líquidos reducirán su participación a 20-15 por ciento y los usos no energéticos aumentarán su participación a 7-9 por ciento. Por otro lado se contempla como positivo un aumento de consumo final de la energía del SRCP- y Agropecuario en detrimento del sector Transporte, asimismo se considera un aumento proporcional inicial del sector Industrial para después disminuir su participación gradualmente.

Estas consideraciones están especificadas en las Tablas 4.8- y 4.9.

TABLA 4.8. CONSUMO DE LA ENERGIA DE USO FINAL POR SECTOR - EN EL CORTO Y LARGO PLAZO

SECTOR*	P O R C E N T A J E S	
	2005	2030
RCP	24	28
Industrial	43	38
Agropecuario	6	8
Transporte	20	18
Consumo no energético	<u>7</u>	<u>8</u>
	100	100

* Implícitamente se está considerando a la electricidad en su B.E.C.

TABLA 4.9. CONSUMO DE LA ENERGIA DE USO FINAL POR FORMA Y CALIDAD EN EL CORTO Y LARGO PLAZO

<u>ENERGIA TERMICA</u>	2005 (%)	2030 (%)
Bajas temperaturas (<100°C)	15	20
Temperaturas intermedias (100-400°C)	26	18
Altas temperaturas (>400°C)	<u>12</u>	<u>10</u>
	53	48
<u>ELECTRICIDAD (B.E.C.)</u>		
RCP	11	12
Industrial y Agropecuario	10	10
Transporte	<u>2</u>	<u>7</u>
	23	29
<u>LIQUIDOS</u>	20	15
<u>CONSUMO NO ENERGETICO</u>	<u>7</u>	<u>8</u>
	100	100

Un resumen de las estimaciones hechas para los parámetros relevantes considerados en nuestro modelo se dan en la Tabla - 4.10.

TABLA 4.10. RESUMEN DE LAS ESTIMACIONES USADAS EN LOS COMPUTOS DE LAS NECESIDADES FUTURAS DE ENERGIA -- PRIMARIA

PARAMETRO	RANGO DE VALORES	1981-2005	1981-2030
Potencial de ahorro	bajo	20% de reducción de energía primaria	30% de reducción de energía primaria
	alto	30% de reducción de energía primaria	50% de reducción de energía primaria
Crecimiento de población	bajo	40%	77%
	alto	83	150%
Uso de Energía por Grupo Social	Corriente	0% de incremento neto	0% de incremento neto
	intermedio	22% de incremento neto	22% de incremento neto
	moderado	11% de incremento neto	11% de incremento neto

Nótese que la estimación de las necesidades futuras de energía se va a establecer en términos de energía primaria comercial⁵¹ esto resulta válido debido a que los valores estimados del potencial de ahorro de la energía provienen de una revisión de todo el sistema energético mexicano por lo que el potencial de ahorro es de energía primaria comercial esen

51 - En la aplicación de este modelo sólo se considera a la energía primaria comercial; es decir, se excluye a la energía primaria de la leña y el bagazo, cuyo consumo (93.20 x 10¹² Kcal) se supone permanecerá esencialmente igual hacia los años 2005 y 2030.

cialmente. La variable "Uso de Energía por Grupo Social" se refiere originalmente al consumo final de la energía comercial, sin embargo, los resultados hallados son fácilmente transferibles al consumo de energía primaria comercial, y finalmente, la variable "Crecimiento de Población", es una variable adecuada y no presenta objeciones para este cálculo. La finalidad de establecer estos cálculos en términos de energía primaria es la de hacer fácil su comparación con la gran mayoría de estimaciones de otra índole, establecidas estas, en términos de energía primaria. También se facilita la comparación de las necesidades futuras de energía y el potencial de diversas fuentes de energía primaria.

Las Tablas 4.11 y 4.12 muestran los cálculos⁵² hallados a corto y largo plazo y las gráficas de estos resultados se muestran en la figura 4.3.

TABLA 4.11. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA PRIMARIA PARA EL AÑO 2005⁵³ (10^{12} Kcal).

AHORRO DE ENERGÍA	CRECIMIENTO DE POBLACION	CONSUMO DE ENERGÍA POR GRUPO SOCIAL	REQUERIMIENTO TOTAL DE ENERGÍA
bajo	bajo	corriente	1286.327
	alto		1681.413
alto	bajo	corriente	1125.536
	alto		1471.236
bajo	bajo	intermedio	1569.320
	alto		2051.320
alto	bajo	intermedio	1373.150
	alto		1794.910
bajo	bajo	moderado	2714.150
	alto		3547.780
alto	bajo	moderado	2374.880
	alto		3104.310

52 - Se sugiere ver en el anexo 2 de esta tesis el algoritmo simple usado

53 - No se incluye el consumo de leña y bagazo.

TABLA 4.12. REQUERIMIENTOS DE ENERGIA PRIMARIA PARA EL AÑO 2030⁵³ (10^{12} Kcal)

AHORRO DE ENERGIA	CRECIMIENTO DE POBLACION	CONSUMO DE ENERGIA POR GRUPO SOCIAL	REQUERIMIENTO TOTAL DE ENERGIA
bajo	bajo	corriente	1422.499
	alto		2009.886
alto	bajo	corriente	1016.428*
	alto		1435.633
bajo	bajo	intermedio	1736.060
	alto		2452.060
alto	bajo	intermedio	1240.040
	alto		1751.410
bajo	bajo	moderado	3002.530
	alto		4240.860*
alto	bajo	moderado	2144.660
	alto		3029.180

4.4.6 Futuros escenarios energéticos

A partir de las dos tablas anteriores es posible formular doce diferentes alternativas de requerimientos futuros de energía, cinco de los cuales están graficados en la figura 4.3.- De los resultados se deduce que las magnitudes de energía primaria comercial que se necesitarán hacia los años 2005 y 2030, oscilarán entre 1125.54 - 3547.78 y 1016.42 - 4240.86- $\times 10^{12}$ Kcal respectivamente. Los valores extremales inferiores son ambos menores a la magnitud de energía primaria de entrada en 1981 (1148.506×10^{12} Kcal), mientras que los valo-

res extremales superiores representan incrementos en un 209% y 269% respectivamente, respecto a la entrada de energía primaria en 1981.

En la figura 4.3 se hace resaltar en cuatro curvas el impacto que puede tener un programa de ahorro de energía que declina con el tiempo las pendientes de las curvas de los requerimientos futuros de energía. Asimismo se hace ver posibles escenarios de transición a través de los cuales puede viajar la sociedad mexicana. Particularmente se han señalado dos: la curva 1) que muestra la posibilidad de incorporar lentamente un programa de uso eficiente de energía en un contexto inicial de población alta y un uso corriente de energía para, posteriormente, introducir mejoras en el nivel medio de vida de los grupos sociales del país, aunado a una cada vez menor crecimiento de población, lo que se cumpliría con sólo un incremento de un 57% en el suministro de energía primaria hacia el año 2030 respecto a la de 1981. En la curva 2) se pretende introducir más rápidamente un programa de ahorro de energía e incorporar mejoras en el nivel medio de vida hasta alcanzar un nivel intermedio todo dentro de un contexto de población alta. Se pretende, posteriormente, reducir el ritmo de crecimiento de población y continuar con la introducción de aumentos en el consumo de energía por grupo social hasta el nivel moderado. En esta ruta el suministro de energía a largo plazo se incrementa de manera similar a la del caso anterior.

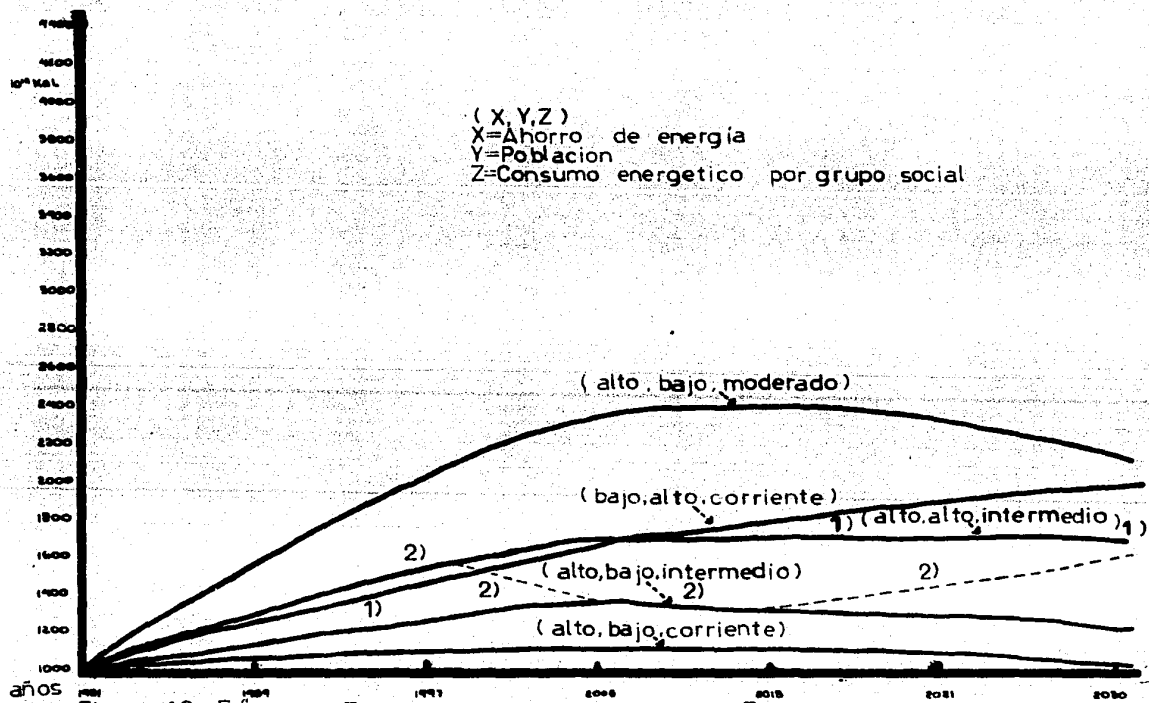


Figura 4.3. Escenarios Futuros de Requerimientos de Energía

FUENTES NO RENOVABLES DE ENERGIA

5.1 *Introducción*

En este capítulo se examinarán las principales fuentes de -- energía no renovables de consumo, o que se espera, se consu-- mirán en México. En orden de su actual potencial son: pe-- tróleo, gas natural, carbón, geotermia y uranio. La disponi-- bilidad última de estos recursos está esencialmente limitada por el hecho de que el consumo de energía lleva directa e -- irreversiblemente al agotamiento del recurso. Los combusti-- bles fósiles, petróleo, gas y carbón son el producto del pro-- cesamiento solar almacenado en plantas hace millones de --- años. Su razón de formación es bastante más lenta que su ra-- zón de extracción. Por otro lado, el calor geotérmico es - un abundante recurso el cual puede o no ser clasificado en-- tre las fuentes no renovables de energía dependiendo de la -

velocidad de la regeneración del calor. Sin embargo; las -- fuentes geotérmicas más fácilmente explotables: focos de -- agua caliente y vapor, atrapados relativamente cerca de la -- superficie terrestre, son lentamente regenerados por el ca-- lor guardado en el núcleo de la tierra. Finalmente el poten-- cial energético del uranio que se desprende por los modos -- convencionales, la fisión del núcleo atómico, es grande, más, sin embargo, finito por lo que se le considera como combusti-- ble agotable.

Una de las características de las fuentes no renovables de - energía es que conforme son consumidas y en la proximidad de su agotamiento, el descubrimiento y su explotación comienza-- hacerse cada vez más costosa. Esto significa que una conti-- nua dependencia sobre fuentes no renovables de energía tendé-- rá hacerse tarde o temprano cada vez más cara. De hecho es-- tos recursos no serán completamente agotados cuando antes ya cese su explotación por ser económicamente impracticable.

La economía mexicana es altamente dependiente de fuentes no-- renovables de energía, como se muestra en la Tabla 5.1 elabo-- rada a partir de los balances oficiales de energía de 1970,- 75,80,82,83 y 84, la tabla no solamente muestra que hay un - alto nivel de dependencia sobre estos recursos, sino que su-- dependencia ha crecido significativamente en los últimos --- años.

TABLA 5.1. PRODUCCION POR FUENTE DE ENERGIA PRIMARIA EN MEXICO, %.

AÑO	FUENTE Carbón*	Petróleo	Gas natural	Hidroenergía	Geotermia	Biomasa**
1970	2.1	55.2	32.6	10.1	N.D.	N.D.***
1975	2.5	62.7	27.6	7.0	0.2	N.D.
1980	1.1	75.1	20.5	3.1	0.2	N.D.
1982	1.18	68.90	23.24	2.83	0.2	3.95
1983	1.26	69.37	22.44	2.57	0.2	4.23
1984	1.37	72.07	19.01	2.95	0.2	4.41

FUENTE: SEMIP, SEPAFIN, Balances Nacionales de Energía

* Se incluye la importación de carbón

** Se refiere a leña y bagazo

*** N.D. significa "no hay datos"

A fin de desarrollar una estrategia energética a largo plazo que permita una adecuada transición hacia un futuro de energía sostenido, es necesario identificar y evaluar el potencial probado de las actuales fuentes de energía, así como sus aspectos técnicos, económicos y ambientales que se consideren más relevantes.

5.2 El Petróleo

Mientras que el petróleo ha sido, a nivel mundial, el recurso energético que permitió el desarrollo económico actualmente alcanzado, se puede decir que para México constituyó la

esencia del desarrollo y crecimiento de las últimas décadas-pasadas. El país literalmente pasó de manera directa de una época de consumo de leña a una época de consumo de petróleo. Actualmente éste recurso continúa siendo fundamental tanto para el sistema energético mexicano (72% de la producción de energía primaria) como para la economía. En este último caso, el petróleo es el principal producto de exportación --proporcionó dividendos por aproximadamente 14 200 millones de dólares en 1984-- mientras que es a la vez el principal --vector de energía de la industria, transporte y electricidad nacionales.

De las fuentes no renovables el petróleo es el que tiene las más grandes reservas probadas, con aproximadamente 56 410 millones de barriles de crudo, distribuidos como se muestra en la Tabla 5.2.

TABLA 5.2. RESERVAS PROBADAS DE PETROLEO CRUDO*

<u>UBICACION</u>	<u>10⁶ B</u>
Zona Norte	649
Zona Centro	1445
Zona Sur	941
Zona Sureste	9323
Zona Marina	31815
Chicontepec	12237
TOTAL	56410

* Se refiere a los aceites y condensados

FUENTE: PEMEX. "MEMORIAS DE LABORES 1984".

Como se muestra en la Tabla 5.3 la producción de crudo en -- 1984 alcanzó 982 millones de barriles.

TABLA 5.3. EVOLUCION DE LA PRODUCCION DE CRUDO

AÑO	PRODUCCION DE CRUDO (10 ⁶ B)
1977	358
1978	443
1979	537
1980	709
1981	844
1982	1003
1983	973
1984	982

FUENTE: PEMEX, "MEMORIAS DE LABORES, 1984".

Entonces, a los niveles corrientes de producción de 1984, -- las reservas probadas de crudo equivaldrían a 57 años de pro ducción.

Las reservas anteriormente mencionadas son estimadas en base a las técnicas de recuperación primaria y secundaria económi camente factibles que permiten la extracción del 25 al 30% - del petróleo contenido en el yacimiento. Las técnicas de re cuperación terciaria permiten elevar hasta en un 50% la cantidad de petróleo que puede ser extraído.

Considerando ahora el precio del petróleo, se puede decir -- que su bajo valor ha reflejado costos promedio de producción más que costos marginales. Cuando el crudo es extraído de los pozos, el petróleo remanente puede solamente ser extraído cada vez con más grande dificultad y por ende con más elevados costos. Esto se puede concluir a partir de las figuras 5.1 y 5.2 que muestran respectivamente la evolución de los pozos perforados y sus razones de éxito, y la evolución de la profundidad media de los pozos de hidrocarburos mexicanos.

El mecanismo por el cual los costos medios son más bajos que los costos marginales, pueden ser explicados como sigue. -- Cuando los pozos más viejos, de bajos precios de producción, son agotados, los nuevos pozos han tenido inexorablemente altos costos de producción y descubrimiento. Históricamente -- estos incrementos en los costos no se han reflejado en los precios del petróleo debido a que los precios han sido el resultado de un promedio de los costos de los pozos nuevos y de los pozos viejos. No obstante, debe enfatizarse que el petróleo es un recurso el cual una vez que es usado se extingue para siempre. Esta característica de no recuperabilidad del petróleo es la que hace difícil determinar una política racional de precios. Así, aunque la tendencia futura en los precios del petróleo no es clara, existen evidencias donde se presume que se seguirán incrementando en el futuro.

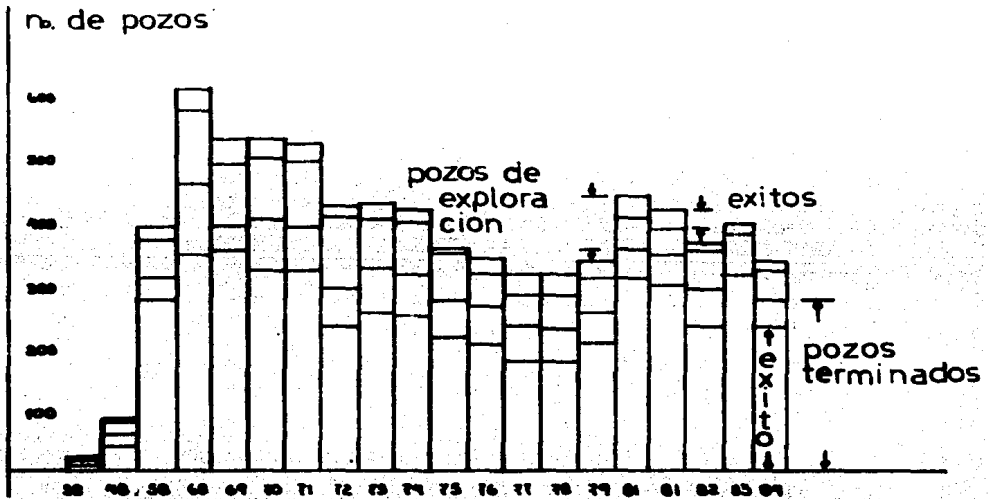


Figura 5.1. Pozos perforados de producción y exploración y proporción de éxito.

FUENTE: S.P.P. "La Industria Petrolera en México" y PEMEX, "Memorias de Labores" de los años de 1980 a 1984.

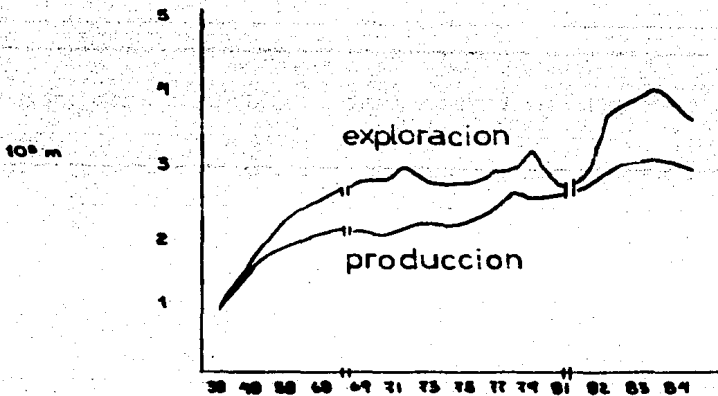


Figura 5.2. Profundidad media por pozo perforado

FUENTE: S.P.P. "La Industria Petrolera en México" y PEMEX, "Memorias de Labores", de los años de 1980 a 1984.

En cuanto a la tecnología que involucra éste energético es casi completamente nacional.

Los problemas ambientales derivados de la producción y uso de el petróleo aparentemente parecen ser controlables. Sin embargo el uso de diesel y gasolina en el transporte, y de combustóleo en las termoeléctricas han causado un impacto negativo en la calidad del aire en áreas urbanas y localidades rurales, también problemas de contaminación de gran importancia se han dado en el perforamiento de pozos (léase Ixtoc, - Abkatún etc.) y en la extracción del petróleo tanto en plataformas marinas como en suelo continental, ocasionando severos daños ecológicos, marinos y terrestres.

Finalmente debe notarse que en el periodo de transición energética que nos proponemos, el asignar al petróleo un apropiado papel requerirá de información más completa en lo referente a las magnitud, reserva de hidrocarburos y a la factibilidad técnica y tecnológica de su explotación.

5.3 Gas Natural

El gas natural es el segundo vector de energía más importante del sistema energético mexicano. El gas natural está compuesto primordialmente por metano y puede ser obtenido ya sea como gas asociado con petróleo, o de pozos conteniendo -

sólo gas. Hay otras dos fuentes importantes de gas catalogadas como no convencionales. Ellas son, primero, depósitos - muy profundos encontrados debajo de los 8 000 m. de profundidad y, segundo, campos geopresurizados en el golfo de México. Estas fuentes están sólo desarrolladas a niveles muy incipientes.

El gas natural tiene un papel importante en centros de la economía mexicana, tales como la industria petroquímica, la industria química, las industrias del acero y el hierro. Es también muy importante en el SRCP en donde en forma de gas licuado suministra el 56% de la energía comercial demandada.

Las reservas de gas natural se muestran, en términos de petróleo equivalente, en la Tabla 5.4.

TABLA 5.4. RESERVAS PROBADAS DE GAS SECO

<u>UBICACION</u>	<u>10⁶ B</u>
Zona Norte	2326
Zona Centro	2150
Zona Sur	1182
Zona Sureste	14226
Zona Marina	34288
Chicontepec	<u>17578</u>

TOTAL 71750

FUENTE: PEMEX, "Memorias de Labores, 1984".

La producción de gas natural en 1984 fue de 274.69 millones de barriles de petróleo equivalente. Entonces las reservas probadas de gas natural equivalen a 50 años a niveles de producción de 1984.

El gas natural se encuentra en formaciones geológicas de la misma naturaleza o muy similares a las que contienen petróleo. Se estima en general, que un 80% del gas en el depósito puede ser recobrado, aunque técnicas mejoradas podrían hacer posible recobrar un 90%. Actualmente, al igual que en el caso del petróleo, la tecnología que requiere este energético es casi completamente nacional.

En comparación con otras fuentes de energía primaria, el gas natural puede ser considerado como muy limpio en términos de su impacto ambiental.

Tal y como en el caso del precio del petróleo, el precio del gas ha reflejado precios promedio más que precios marginales. Similarmente al caso del precio del petróleo se espera que sus precios se incrementen en el futuro.

Las buenas características del gas natural hace obligatorio desarrollar una política inteligente para su uso. Esto debería involucrar una mayor orientación hacia aplicaciones no energéticas.

5.4 El Carbón

Desde tiempo atrás el principal uso que se le ha dado al carbón en México es en forma de Coque, requerido principalmente por la industria siderúrgica. Fue cerca de los inicios de -- 1982 cuando 300 MW de electricidad provenientes de una carbo eléctrica se conectó a la red nacional, y desde entonces se ha despertado el interés de usar el carbón para generar electricidad. Esta unidad es la primera de una gran planta que se estima alcanzará 1200 MW de capacidad instalada. Estos modos convencionales de uso así como la explotación del carbón se efectúan en mayor parte con tecnología nacional.

En la Tabla 5.5 se muestran las reservas probadas de carbón. La tabla distingue entre carbón coquizable, de uso industrial, y carbón no coquizable, para generación de electricidad.

Las reservas probadas de 423 millones de toneladas de carbón no coquizable se calculan adecuadas para suministrar 6550 MW de electricidad por 30 años, suponiendo una eficiencia de -- 35% y un factor de carga de 70%.

Las reservas probadas de 541 millones de toneladas de carbón coquizable se calculan suficientes para cubrir por 77 años -- la demanda de este tipo de carbón por parte de las indus---

trias del acero y minero metalúrgicas, manteniéndose una razón de consumo de 7 millones de toneladas por año.

TABLA 5.5. RESERVAS PROBADAS DE CARBON EN MEXICO

<u>Tipo de Carbón</u>	<u>10⁶ Toneladas</u>
Carbón coquizable	541
Carbón no coquizable	<u>423</u>
TOTAL	964

FUENTE: Varios Autores. "Perspectivas de los Energéticos - al Año 2000", I.I.E., C.F.E., 1982.

Parece ser que en el futuro el papel del carbón será limitado a las aplicaciones antes indicadas. Esta perspectiva y los bajos precios internos de los hidrocarburos han provocado la detención y lentitud de más hallazgos de depósitos carboníferos de tal manera que las actuales reservas probadas son más bien pobres, sin embargo es de gran valor estratégico para el país continuar las exploraciones a fin de saber hasta donde podemos contar con este recurso, y que otros usos alternos se le puede asignar.

Desde el punto de vista ambiental el ciclo del carbón, fundamentalmente la extracción y combustión, tienen un impacto severo en el medio ambiente, lo que ha llevado a desarrollar

técnicas en los procesos de extracción que reducen el daño ambiental así como tecnologías anticontaminantes en los procesos de combustión. Esto último ha incidido adversamente en los costos de generación de una planta carboeléctrica, -- restando alicientes al desarrollo de éstas en el país.

5.5 La Geotermia

Los recursos geotérmicos incluyen diversas reservas de calor contenidas en el interior de la tierra. Como ya se discutió antes, a pesar del gran potencial de calor guardado en la -- tierra, los tipos de depósito de mayor interés, de acuerdo a la tecnología existente, los llamados sistemas de convección hidrotérmicos se regeneran muy lentamente y se consideran -- por tanto como recursos no renovables. Aunque pueden ser re habilitados rápidamente con nuevas perforaciones y aumentar el período de suministro de calor. Las características volcánicas del país sugieren que la contribución de este tipo -- de depósitos puede ser apreciable para la generación de elec tricidad. Actualmente la capacidad instalada de plantas geo térmicas de generación de electricidad es de 645 MW y se pre vé un mayor desarrollo de estas plantas al futuro. Las re-- servas probadas son exclusivas de este tipo de depósitos y - se calculan en 1340 MW⁵⁴ en capacidad instalada, México cuen

54 - Dato citado en la revista "Semanario" de la Fac. de Ingeniería de la UNAM en la publicación del 8 de enero de 1986.

ta casi con la totalidad de tecnología para aprovechar la -- energía de estos yacimientos, y se puede decir que es de los pocos países que aprovechan ésta fuente.

Otros recursos no convencionales geotérmicos cuyos potenciales en México se estiman como considerables son los recursos geopresurizados, los recursos de roca seca caliente y los recursos geotérmicos marinos a mayor y menor profundidad. Sin embargo todos estos recursos se encuentran en estado muy pobre o casi nulo de exploración.

Se contempla a futuro usos no convencionales de la geotermia, tales como: calefacción, calor de proceso industrial a bajas e intermedias temperaturas, calor para invernaderos, establos y suelos de agricultura; para calentamiento de agua, cocción, destilación de agua, etc.

La extracción de la energía geotérmica puede resultar en un impacto ambiental negativo a la atmósfera y al agua, ocasionados por las poluciones térmicas y, de sales y ácidos, asimismo puede tener efectos de carácter sísmicos no previstos hasta ahora. En general existe la tecnología para controlar los daños directos al medio ambiente lo que sin duda también aumenta los costos para el aprovechamiento de este recurso.

Es necesario continuar con los procesos de exploración de --

esta fuente que puede jugar un papel muy importante - para mantener la continuidad en el suministro futuro de energía del país.

5.6 El Uranio

El uranio es un recurso endógeno que al parecer en muy poco tiempo será usado en México al ponerse en marcha la planta - nucleoelectrica de Laguna Verde de 1200 MW. A diferencia de los energéticos convencionales anteriores la tecnología usada para aprovechar este recurso es más bien sofisticada y es muy notorio el alto grado de dependencia de tecnología nuclear de México respecto del extranjero. Las reservas probadas son más bien pequeñas y suficientes sólo para abastecer a la planta anteriormente mencionada por un espacio de 30 -- años.

Desde el punto de vista ambiental el temor más grande es en cuanto a la posibilidad de que exista un accidente serio, como ya ha ocurrido en algunas partes del mundo (léase Chernobyl, Isla de Tres Millas) de consecuencias imprevistas.----- Sin embargo, no siendo éste el caso, aún así persisten problemas de gran impacto ambiental como son los problemas de los desechos radiactivos, producto del "quemado" del combustible que hasta ahora no se ha resuelto.

Desde el punto de vista económico, ésta una tecnología de altos costos de capital, la cual últimamente se han incrementado más debido a la implementación de cada vez mayores dispositivos de seguridad que garanticen su buen funcionamiento.

Una mayor uso de éstos recursos uraníferos en México usando la actual tecnología, aparece como de poco interés. Sin embargo, trabajos exploratorios y a nivel de laboratorio, deberán de proseguir a fin de no desligarse de otras tecnologías de aprovechamiento de la energía nuclear que parecen más promisorias y aceptables en el futuro.

6. LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA

6.1 *Introducción*

Actualmente las fuentes renovables de energía de uso en México: hidroenergía, leña y bagazo constituyen el 12.4% del total de la oferta interna bruta de energía y el 14.6% del consumo final total energético del país de acuerdo al balance oficial de energía de 1984, si bien estas cantidades son bastante significativas, aún queda bastante potencial hidroenergético por desarrollar y mucho potencial de ahorro de energía en el uso de la leña y el bagazo que se puede implementar. Ambas cosas sin duda aumentarían la presencia de estas fuentes energéticas como satisfactores de nuestras necesidades nacionales. Sin embargo el potencial de los energéticos renovables en México no se limita únicamente a las mencionadas anteriormente. Nuestro país debido a su situación geográfica

ca privilegiada y a la variedad de climas y biomásas existentes, hacen aparecer en magnitud a las fuentes renovables de energía en principio más que suficientes para satisfacer --- nuestras necesidades futuras de energía. Si a esto agregamos que desde el punto de vista técnico éstas fuentes de --- energía pueden ser fácilmente acopladas para satisfacer los requerimientos del uso final de la energía en forma de energía térmica, líquidos, trabajo mecánico y electricidad, podemos tener un panorama más cierto de lo que estos energéticos podrían significar para el país. Habría que agregar el impacto ambiental en general más benigno que tienen estas fuentes y la competitividad económica que en algunos casos se ha ganado y otros tantos más están en vías de lograrlo. Todo --- ésto aunado al futuro agotamiento de los hidrocarburos y a los elevados costos para disminuir los riesgos y la contaminación ambiental que implica el uso de los energéticos no renovables hacen sugerir que el futuro energético será el de las fuentes renovables de energía.

Desgraciadamente el soporte oficial para apoyar el desarrollo e investigación de las fuentes renovables de energía ha sido débil, por un lado, desacelerando el desarrollo del potencial hidroeléctrico y por el otro, suministrando un apoyo financiero raquítico para el desarrollo e investigación de nuevas fuentes renovables de energía. Lo primero se puede --- ver fácilmente a partir de la Tabla 5.1 del capítulo ante---

rior y para lo segundo basta mencionar que la inversión en investigación y desarrollo sobre energía solar, eólica y biomasa representó en 1980 el 0.55% de la inversión nacional total en ciencia y tecnología, siendo el mismo el 7% de los gastos totales en investigación en el sector energético(7).- Dichas cantidades que en los últimos años no han variado significativamente. De acuerdo a ésta información, la posibilidad de llegar a establecer una estructura energética cada vez más independiente de las fuentes no renovables de energía no es muy prometedora a no ser que la política oficial energética sufra un profundo cambio en los próximos años (empezando desde ahora).

En este capítulo solamente serán considerados en el análisis cuatro fuentes renovables de energía: la solar directa, la hidroenergía, la biomasa y la eólica. Puesto que no se pretende ser exhaustivo en el tratamiento de las fuentes renovables se hará énfasis por convenir más a esta tesis en el análisis de las triadas Fuente-Tecnología-Uso final atendiendo al potencial del recurso, a las tecnologías ya comerciales o próximas a serlo y que han sido investigadas en el país ó que se consideran de mayores posibilidades de uso en el mismo; y al impacto ambiental que implica el uso de éstos energéticos. En el próximo capítulo se hacen consideraciones respecto a la posible contribución que pueden tener estas fuentes de energía hacia los años 2005 y 2030 de acuerdo a los escena

rios futuros de energía calculados en este trabajo.

6.2 · La Energía Solar Directa

Las insuficientes estaciones solarimétricas que se encuentran dispersas en el interior del país, así como otro tipo de estudios provenientes de información de satélites y de características climatológicas muestran que la disponibilidad del recurso solar en México es atractiva, particularmente en el norte y sureste del país. La mayor parte del territorio recibe una radiación global diaria promedio entre 400 y 500-cal/cm² cantidades que se consideran satisfactorias para el aprovechamiento de energía solar.

Existen diversas tecnologías solares, todas ellas orientadas en general a determinados usos finales. Estas pueden ser -- agrupadas como se muestra en la Tabla 6.1 en la cual también aparecen sus aplicaciones.

Al parecer los sistemas térmicos y fotovoltaicos son los que más se han estudiado en el mundo y sus tecnologías en general son maduras y pueden competir comercialmente, como es el caso de los colectores planos, los sistemas térmicos pasivos, sistemas de concentración para calor industrial, estanques solares y celdas fotovoltaicas, aunque, estas dos últimas en situaciones más específicas(1). En general existen --

TABLA 6.1. RELACION DE TECNOLOGIAS SOLARES-CALIDADES ENERGETICAS

Tecnología	< 100°C	100-400°C	> 400°C	Electricidad
TERMICOS:				
pasivo	x			
estacionario	x	x		
colectores planos	x			
colectores tubulares	x	x		
estanques solares	x			
con seguimiento		x	x	
distribuidos		x	x	
torre central		x	x	
FOTOVOLTAICOS				x
FOTOQUIMICOS				x
TERMIONICOS				x

buenas perspectivas de que otras tecnologías solares alcancen su viabilidad económica a mediano plazo y otras más a largo plazo.

En México también los sistemas térmicos y fotovoltaicos son los que más se han estudiado y se considera que serán los de aplicación más promisoría en el país. Algunos aspectos más-

relevantes respecto al desarrollo de la energía solar en México son:⁵⁵

La helioarquitectura (sistema solar pasivo) ha sido desarrollado en muchas instituciones en estudio de la arquitectura y forma parte de los programas oficiales de vivienda. Se calcula que durante el período 1980-82 se destinaron 50 millones de pesos a la investigación, desarrollo y demostración de éste sistema. Se considera que a medida que se avance en la caracterización de los elementos para la construcción endógenos del país, los costos se podrían reducir.

Los colectores solares planos han sido considerados de mayor interés por parte de instituciones oficiales y privadas de México. Los colectores planos se han fabricado desde hace más de 30 años, existiendo, actualmente, varios fabricantes con niveles de producción muy pequeños. La producción nacional se estima que no alcanza los 2000 m²/año. También se calcula que el área total de colectores solares planos actualmente instalados en el país no llegue a 10,000 m². Existen algunos programas oficiales e independientes para desarrollar colectores de autoconstrucción de muy bajos costos - aunque de baja eficiencia para aplicarlos en las zonas rurales y al parecer éstos han sido fabricados y adoptados con éxi

55 - La información y datos que a continuación aparecen fueron tomados de las refs. cit. (1) y (13).

tos en comunidades del Estado de Puebla.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM cuenta con amplia experiencia en el estudio de sistemas solares de conversión termodinámica. Ha diseñado y construido una planta experimental con colectores de tipo canal parabólica con una capacidad instalada de 10-15 KW habiéndose desarrollado en su mayor parte con materiales y tecnología locales.

Otra área de interés en investigación y desarrollo es el relacionado con los sistemas fotovoltaicos. El I.P.N. cuenta con una planta de pequeña capacidad para la producción de celdas de silicio amorfo con la cual a través de la experiencia que se ganaría en la operación de ésta planta se pensaba pasar a una escala de producción comercial. Sin embargo se quitó el apoyo financiero para llevar a cabo esto, no obstante que alrededor de 40 000 sistemas fotovoltaicos fueron importados de Alemania Federal para ser aplicadas en zonas urbanas y rurales del país. Otras instituciones que se dedican al estudio del desarrollo y aplicación de sistemas fotovoltaicos son I.I.M. de la UNAM y el I.I.E. de la CFE, la primera tiene como interés desarrollar celdas de silicio amorfo y de sulfuro de cadmio, la segunda se interesa por el análisis de la aplicación de sistemas fotovoltaicos para generación de potencia.

Respecto a las otras tecnologías solares las actividades son mínimas o nulas debido a la escasez de recursos humanos y el bajo financiamiento.

En cuanto al impacto ambiental, debido a su limitada aplicación actual no hay un conocimiento real de el proceso de consumo, de la corrosión del equipo y su reemplazo, así como de los efectos de la contaminación debido a la operación de las tecnologías solares y de sus desechos. Pero un aspecto importante es que la aplicación de las tecnologías solares permiten el recobro y el reciclaje local de materiales con lo que se trabaja a favor de la preservación del medio ambiente.

En general puede considerarse a la solar, dentro de las tecnologías más benignas. El mayor problema que se prevé al hacer uso de estas tecnologías es la perturbación en el balance térmico entre suelo-atmósfera cuando grandes áreas son dedicadas a la captura solar. No obstante éste efecto se considera bastante más pequeño que el causado por la masiva "quemadura" de combustible y la polución térmica de los reactores nucleares.

6.2 La Biomasa

La energía de la biomasa es aquella que se puede obtener de toda materia orgánica formada por árboles, arbustos, residuos forestales, pastos, cultivos y sus residuos, plantas acuáticas y desechos animales, urbanos e industriales. Esta

energía se puede liberar a través de las tecnologías que se muestran en la Tabla 6.2 en donde también se señalan sus posibles aplicaciones de uso final.

TABLA 6.2. RELACION DE TECNOLOGIAS BIOMASICAS-CALIDADES ENERGETICAS

	<100°C	100-400°C	>400°C	Eléctrica	Líquidos portables
BIOLOGICOS:					
Fermentación					X
Biometanación	X	X			
TERMOQUIMICOS:					
Combustión directa	X	X	X	X	
Pirólisis	X	X			X
Licuefacción					X
Gasificación *	X	X		X	X

* Este gas es factible usarlo como combustible para máquinas de combustión interna.

En general éstas tecnologías pueden considerarse comercialmente disponibles pudiendose hablar en algunos casos de aplicaciones masivas e industriales.

En México el potencial de biomasa es grande. Se estima que-

anualmente los bosques se incrementan en 54 millones de m^3 - lo cual es equivalente a una quinta parte del consumo final-total de energía en el país en 1981(11). Asimismo cálculos muestran que el potencial en 1982 de biogás susceptible de obtener a partir de desechos animales y el potencial energético de desechos de agricultura fué de 7.03×10^{12} Kcal y 12.48×10^{12} Kcal respectivamente si se hubiese aprovechado al 100% estos desechos(2). Se estima^{5,6} también que el potencial energético de desechos urbanos de ciudades cuya población son mayores que 0.5 millones de habitantes es de 0.006×10^{12} Kcal.

entre los aspectos más relevantes en México dentro de la investigación y desarrollo así como en el uso y cuidado de la biomasa se encuentran:

El consumo de la industria forestal y de papel se estimó para 1982 en 11.2 millones de metros cúbicos e históricamente éste consumo ha estado constantemente aumentando(20). El consumo de leña para uso doméstico se estima en 28 millones de m^3 y ante la desaparición de subsidios a energéticos de uso en el sector rural, como el de petróleo diáfano, se prevé un mayor aumento del consumo. En la década pasada se deforestó^{5,6} un total de 17 067 218 Has. habiéndose registrado

5,6 - Ver ref. cit. (13), páginas 47 y 51.

para 1980 40 532 925 Has. de superficie arbolada(19), lo ---
cual implica un promedio anual de desforestación de -----
1 700 000 Has. De igual modo se considera alarmante la ero-
sión del suelo en el país misma que llega a ser el 72% de la
superficie agrícola total. Estas tendencias no son nada op-
timistas y ningún gran esfuerzo oficial se ha hecho para re-
vertirlas.

Sin lugar⁵⁷ a dudas el proceso que ha recibido más atención-
en investigación y desarrollo en México es el de la diges---
ción anaeróbica particularmente de digestores mesofilicos. -
Este tipo de tecnologías se ha estudiado a nivel de laborato-
rio y se ha implementado en comunidades rurales para usos en
los procesos de cocción, de iluminación (lámparas de gas) y-
generación de energía eléctrica (planta de 16 KW), los dos -
últimos casos en menor proporción. Estos estudios en gene--
ral integran el aprovechamiento de fertilizantes que se pue-
den obtener colateralmente.

Respecto a la combustión directa, estufas para leña más efi-
cientes, baratas, y hechas con recursos locales, han sido es-
tudiadas, habiéndose obtenido mejoras hasta de un factor de-
3 en la eficiencia, en la experiencia del grupo de energéti-
ca de la facultad de ciencias, UNAM. Otras experiencias son
llevadas a cabo por el proyecto Xochicalli y la S.A.R.H., te

niendo la intención esta última de promover la adaptación masiva de estufas para leña más eficientes. Es menester señalar que al desarrollo y estudio de estas estufas no se le ha dado la importancia que debiera tener.

Respecto al resto de las tecnologías para el aprovechamiento energético de la biomasa, la actividad nacional es casi nula, excepto en la producción mecánica de aceites vegetales.

Las plantaciones energéticas y desarrollo de ganado tienen problemas de disponibilidad de suelo y agua. Sin embargo, en particular, las plantaciones pueden ser realizadas en suelo no competidos (semidésérticos) o erosionados e inútiles para otras labores. Las ventajas que traen consigo las plantaciones en beneficio del medio ambiente son: reducir la deforestación y la erosión causada por el viento con lo cual se retiene la humedad y se redistribuyen en muchos casos los nutrientes esenciales para la tierra. El aprovechamiento de la biomasa se puede dar en el reprocesamiento de desechos y residuos industriales y en el aprovechamiento de desechos urbanos y rurales tales como: aguas negras, basura y desechos de animales y de cultivos, trayendo consigo un mayor depuramiento del medio ambiente y equilibrio con la naturaleza.

6.4 La Energía Eólica

El potencial eólico de el país no ha sido calculado aún. -- Las estaciones metereológicas localizadas en los aeropuertos y otros lugares en el interior del país no fueron diseñadas para hacer mediciones del viento, considerando a éste, como una fuente de energía. Sin embargo, con la información meteorológica existente se puede inferir que los sistemas regionales más importantes son: la región sur del istmo de Tehuantepec, con velocidades medias del viento entre 6.5 y 7 m/s; las Costas de Oaxaca, Guerrero y Michoacán, en las que el viento alcanza velocidades máximas de entre 13 y 15 m/s, la península de Baja California y las Costas de los estados de Veracruz y Campeche(13).

En las tecnologías existentes se aprovecha la energía cinética del viento la cual se puede convertir en energía mecánica rotacional y esta a su vez puede convertirse en energía eléctrica o térmica. Según la dirección del eje que soporta a la aeroturbina las tecnologías eólicas se pueden clasificar como de eje horizontal ó eje vertical. Todo esto se resume a continuación.

TABLA 6.3. RELACION DE TECNOLOGIAS EOLICAS-CALIDADES ENERGETICAS

Tecnología	100°C	100-400°C	Trabajo Mecánico	Electricidad
De Eje horizontal	X	X	X	X
De Eje vertical	X	X	X	X

De mayor interés ha sido desarrollar y aplicar estas dos tecnologías para acarreo de agua (aerobombas) y para generación de electricidad (aerogeneradores) para las cuales existen -- tecnologías maduras y se encuentran en disponibilidad comercial.

En el norte y sureste del país se utilizan aerobombas en regiones rurales. Existe también una fábrica constructora de aerobombas y otra fábrica de aerogeneradores se piensa que -- operará pronto.

Las instituciones que realizan actividades de investigación y desarrollo en el aprovechamiento de la energía eólica son:

En el Instituto de Investigaciones Eléctricas que se ha ---- orientado hacia aplicaciones en el medio rural y actualmente opera un aeromotor (el cual desarrolla trabajo mecánico), -- una aerobomba y tres aerogeneradores de capacidades pequeñas encontrándose en proceso de construcción un prototipo de ---

aerobomba mecánica. Asimismo éste Instituto está trabajando en la elaboración de un Atlas eólico del país. Sin duda la institución referida es la que cuenta con mayores recursos humanos y económicos para realizar actividades para aprovechar la energía eólica del país.

Otras instituciones que trabajan en esta área son: la Unidad Azcapotzalco de la UAM y la ESIME del IPN. La primera trabaja en desarrollar sistemas prototipos que se puedan integrar en sistemas no convencionales-autosuficientes(16). La segunda está orientada a desarrollar molinos de viento. Existe también una asociación civil, el Grupo del Sol, S.C. que está elaborando un aerogenerador de pequeña capacidad.

Las tecnologías eólicas son posiblemente las más limpias de todas las fuentes de energía. Sin embargo se les atribuye que causan perturbaciones en señales de alta frecuencia así como en el medio natural al generar ruido. Este impacto se considera como mínimo en comparación al impacto ambiental que puede tener el petróleo, el carbón o la energía nuclear.

6.5 Hidroenergía

Actualmente la hidroenergía aprovechada en su forma convencional -sistemas centralizados basados en grandes presas para generación de electricidad constituyen la segunda fuente-

renovable de energía (después de la leña) de mayor uso en México. La C.F.E. en su revisión de febrero de 1983 había --- identificado un potencial de generación de electricidad de - 172,193 GWh por año, de los cuales 24,774 GWh se aprovechan actualmente y 6209 GWh estaban en vías de aprovechamiento, - es decir, a lo sumo se aprovecha el 18% de el potencial localizado. En otros términos se apunta que se tienen identificados 597 proyectos hidroeléctricos por desarrollar de los - cuales 40 se encuentran en operación y 7 en construcción. - La capacidad instalada, hasta la fecha arriba mencionada, de hidroelectricidad era de 6969 MW. A fin de dar una idea de la magnitud de este potencial hidroeléctrico se calcula que este es equivalente a 2.46 veces la producción total de electricidad en 1981 (70 000 GWh).

Es importante mencionar que en la evaluación anterior no considera el potencial hidroeléctrico que se pudiese tener para desarrollar pequeñas centrales, minicentrales, microcentrales hidroeléctricas a pesar de la importancia del papel que pueden desempeñar en el desarrollo rural. Desde 1964 C.F.E. abandonó la construcción de centrales hidroeléctricas de gastos pequeños y elevadas cargas (31 MW de capacidad promedio) por proyectos de gastos grandes y poca carga (339.4 MW de capacidad promedio).

En los últimos años, debido a los costos de inversión inicial relativamente bajos de construcción de centrales termoeléctricas, a los bajos precios de hidrocarburos y a la falta de tecnologías para el aprovechamiento alterno de combustible, se aumentó la dependencia en los hidrocarburos para generar electricidad, en detrimento del desarrollo del potencial hidroeléctrico.

Un aspecto importante respecto al recurso hidroeléctrico es que su tecnología tiene un alto grado de integración nacional, calculándose que la tecnología y equipo que se requiere en su construcción es de origen nacional en un 70%. Las plantas hidroeléctricas convencionales tienen una larga vida útil, pero requieren de inversiones iniciales altas; por otro lado, su construcción es intensiva en mano de obra. Las plantas hidroeléctricas, pueden, en general contribuir a otros fines tales como riego, dotación de agua potable, acua cultura, etc.

El desarrollo de las plantas hidroeléctricas debe ser una tarea prioritaria del Estado con el propósito de diversificar sus fuentes de energía sobre todo hacia fuentes renovables. El avance de éstas no debiera depender de situaciones coyunturales económicas y financieras que impiden ver hacia el futuro.

El costo de pequeñas centrales hidroeléctricas sigue siendo alto, sin embargo, su tecnología es madura y comercial. En algunos países éstas se han implantado masivamente, como es el caso de República Popular de China (89,000 unidades hidroeléctricas) la cual tiene una capacidad instalada de las mencionadas tecnologías igual a 63 000 MW(4) (casi el potencial hidroeléctrico instalado en el país).

El impacto ambiental del aprovechamiento hidroeléctrico está íntimamente asociado a la escala. Considerándose que las de menor escala tienen prácticamente un impacto nulo. Sin embargo, en general, el impacto ambiental tecnológico es menos severo que el de las de otras fuentes de energía convencionales.

7. ESCENARIOS DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA

7.1 *Introducción*

Sin duda alguna, el contar a futuro con una participación amplia de las fuentes renovables de energía para satisfacer -- los requerimientos de energía del país, va a depender del po -- co o mucho esfuerzo que realice el Estado en unión con los -- centros de investigación y empresas privadas, así como en lo referente a los aspectos sociales y económicos propios del -- país, pero como premisa necesaria se debe tener un decidido -- apoyo estatal.

7.2 *Escenario del Potencial de las Fuentes Renovables de -- Energía*

Una estimación que dá una idea de la gran magnitud del poten

cial energético de las fuentes renovables es la que a continuación se hace, considerando sólo a la energía solar directa, la biomasa y la hidroelectricidad. Los cálculos se muestran en el anexo 3 y las suposiciones que apoyan dicha estimación son las siguientes: Para la energía solar directa se realiza el cálculo recurriendo al uso de colectores solares-planos los cuales tienen eficiencia de 50% (ésta tecnología solar es la más competitiva y la de mayor uso mundial). Asimismo se supone una radiación promedio diaria de 450 cal/cm^2 (factible en nuestro país), haciendo dos estimaciones una la baja, suponiendo que el 0.1% del territorio mexicano es cubierto por los colectores mencionados, y otra, la alta, en donde se supone que el 1% del territorio es cubierto por la misma tecnología. En cuanto a la biomasa, por un lado, se considera que, dedicar el 1% del área del suelo mexicano al cultivo de plantaciones energéticas es el límite máximo posible(13), al competir con cultivos de alimentos y por la disponibilidad de agua. Dadas estas circunstancias se realizan dos estimaciones: una baja y otra alta; en la primera se considera que las plantaciones energéticas se llevan a cabo con una eficiencia de conversión solar de 1% y en la segunda esta eficiencia es de 2%, posteriormente, para ambas estimaciones, se considera que la materia orgánica obtenida es convertida a líquidos combustibles con una eficiencia de 48%. Por otro lado se toma como única estimación el potencial, ya referido antes de desechos de la agricultura, de los anima--

les y la de las ciudades. Por supuesto que esto último es - equivalente a suponer que todo el ganado es estabulado y que los otros tipos de desechos pueden ser completamente recolectados o aprovechados, además se suma a la cantidad anterior - el potencial energético dado sólo por la mitad del incremento anual de nuestros bosques. Finalmente se consideran dos - estimaciones en el desarrollo del potencial convencional Hidroeléctrico: la primera, es la baja, y se considera que se aprovecha la mitad del potencial hidroeléctrico localizado y la segunda, es la alta, porque considera que es desarrollado todo el potencial.

Los resultados hallados se grafican en la siguiente figura.

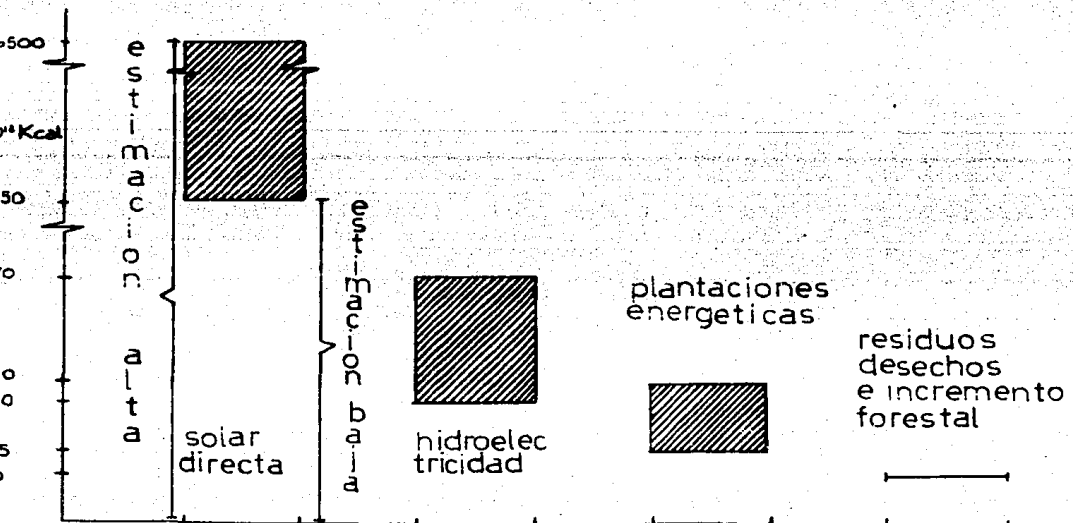


Figura 7.1. Potencial de las fuentes renovables de energía: Solar directa, Hidroelectricidad y Biomasa --- (plantaciones energéticas y, desechos y residuos rurales y urbanos e incremento forestal).

La estimación baja total suma 2105×10^{12} Kcal mientras que la alta suma $17\ 330 \times 10^{12}$ Kcal. Estas cantidades nos pueden sensibilizar acerca del potencial que se puede obtener -- haciendo uso de tecnologías y prácticas que en un momento da-- do pueden ser factibles en México. La Tabla 7.1 hace consi-- deraciones de éstas bajo y alto potenciales respecto a la -- oferta interna bruta de 1981, y a los valores extremos de re-- querimientos futuros de energía, en este trabajo calculados, hacia los años 2005 y 2030⁵⁸.

TABLA 7.1. ESTIMACION PORCENTUAL DEL POTENCIAL DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA SEGUN LA FIGURA 7.1 -- RESPECTO A LA OFERTA INTERNA BRUTA DE 1981, Y -- LOS REQUERIMIENTOS FUTUROS DE ENERGIA EN LOS -- AÑOS 2005 Y 2030⁵⁸.

	Oferta Interna Bruta de Ener- gía de 1981	Valores Extremales* de Demandas de Ener- gía. Año 2005	Valores Ex- tremales*de Energía. -- Año 2030
ESTIMACION BAJA DE POTENCIAL	196%	172-58%	140-49%
ESTIMACION ALTA DE POTENCIAL	1613%	1416-474%	1556-398%

* Se está considerando el valor más bajo y más alto, estimado en este -- trabajo como requerimiento futuro de energía para los años 2005 y -- 2030

58 - A los valores extremos de los requerimientos futuros de energía, -- o sea el valor más alto y más bajo de las Tablas 4.11 y 4.12 de es-- ta tesis respectivamente, les sumamos las cantidades de consumo de -- leña y bagazo cuyas cantidades respectivas son 73.0 y 21.0×10^{12} Kcal y que en esta tesis se considera van a permanecer constantes -- hasta el año 2030.

7.3 Escenarios de Contribución Futura de las Fuentes Renovables de Energía

Es el campo mexicano el lugar donde presumiblemente se im---plantarán más rápidamente tecnologías de aprovechamiento de fuentes renovables de energía. Esto es debido a que en ese medio existen alrededor de 19 millones de habitantes dispersos en aproximadamente 80 000 poblados, todos ellos sin cobertura de energía comercial.

Son la dispersión poblacional y los últimos adelantos tecnológico y económicos, los factores que hacen viable la entrada de energéticos renovables a éste sector. En efecto, es posible ver en un estudio llevado a cabo recientemente(12) en el cual, considerando a las poblaciones rurales típicas de 250 habitantes y sus necesidades prioritarias específicamente de electricidad se realiza un análisis de costos entre sistemas convencionales: extensión de la red eléctrica y generador diesel, y sistemas no convencionales que hacen uso de fuentes renovables de energía: sistemas fotovoltaicos, fototérmicos, generadores microhidroeléctricos, sistemas de biomasa y sistemas eólicos; de tal modo que el costo unitario de cada una de las diferentes opciones sea igual al de la extensión de la red. El cálculo está apoyado en un crecimiento de población total hacia el año 2000, similar al que se propone en la tesis y en aspectos factibles, tanto econó-

micos como técnicos. Los resultados que se hallan son los - que aparecen en la Tabla 7.2.

TABLA 7.2. CAPITAL INICIAL POR FUENTE PARA EQUIPARAR EL -- COSTO DE DIVERSAS TECNOLOGIAS ENERGETICAS CON - EL COSTO POR EXTENSION DE RED.

(COSTO CAPITAL DE EQUILIBRIO)

Sistema:	Costo Capital de Equilibrio (US\$ - 1986)	
	20 km	5 km
Extensión de red	180 000	80 000
Diesel	79 000	42 400
Fotovoltaico	225 400 (16.33/Wp)	109 700 (7.95/Wp)
Fototérmico	167 200 (4200/Kw)	81 400 (2.034/Kw)
Microhidroeléctrico	191 700 (4800/Kw)	93 400 (2300/Kw)
Biomasa	126 300	61 500
Eólico	167 200 (4200/Kw)	81 400 (2000/Kw)

FUENTE: Martínez Manuel y Ruth Aguilar. "Abastecimiento de Energía Eléctrica Rural: Una Propuesta para el Año 2000". X Reunión Nacional de Energía Solar, octubre de 1986.

Estos costos comparados con los precios actuales que según - la misma fuente son los que aparecen en la Tabla 7.3 permiti-- ten deducir que de extenderse una red eléctrica por 20 km, - todos los demás sistemas son competitivos actualmente. Mien

tras que de ampliarse la red por sólo 5 km, el diesel, la mi
crohidroelectricidad y la biomasa son ya competitivos, consi
derándose que el resto pueden serlo en un periodo de 5 años.

TABLA 7.3. COSTOS DE CAPITAL INICIAL ACTUALES DE DIVERSAS-
TECNOLOGIAS ENERGETICAS

Sistema	US Dlls - 1986
Diesel (40 Kw)	15 000
Fotovoltaico (14 Kwp)	15/Wp
Fototermico (40 Kw)	3 500/Kw
Microhidroeléctrico (40 Kw)	1 000/Kw
Biomasa (40 Kw)	25 000
Eólico (40 Kw)	2 500/Kw

Por último, es necesario plantear con criterios de factibili
dad las contribuciones que se espera tengan las fuentes reno
vables hacia los años 2005 y 2030. Para esto consideramos -
un estudio recientemente elaborado por Antonio Alonso Con---
cheiro y Luis Rodríguez Viqueira(1). En el trabajo se consi
dera la contribución de diferentes tecnologías: la solar, -
la eólica y la de biomasa. En la última no se considera la-
combustión directa de la leña y el bagazo.

El trabajo está realizado atendiendo a las fechas probables-
en que ciertas tecnologías podrían empezar a penetrar en

el mercado nacional. Los autores hacen énfasis en que sus estimaciones consideran un esfuerzo nacional coordinado apreciable. No obstante el trabajo se desarrolla teniendo en mente, implícitamente, los precios anteriores que en el mejor de los casos son de 1981. Sus resultados son, de todas maneras, de mucho interés y los ocuparemos en el presente trabajo. Estos autores estiman para los años 2000 y 2020, la contribución de energía primaria y eléctrica de los energéticos arriba mencionados en términos de intervalos de valores. Aquí se considera como factible que, hacia el año 2005, se puedan hacer válidos los valores extremales máximos de los intervalos que se mencionan en el libro citado para el año 2000, tanto para la contribución de energía primaria, como de electricidad. Asimismo se considera que hacia el año 2030 es factible el doble de las estimaciones que los autores establecen para el año 2020, tanto para generación de energía primaria como de electricidad vía tecnologías renovables. Es importante señalar que bajo éstas hipótesis, el cálculo es muy conservador diluyéndose el esfuerzo "apreciable" que se considera que se debe ejecutar. Por otro lado, las estimaciones hechas en el presente trabajo hacen ver que las calidades energéticas de los procesos termales industriales son factibles de orientación hacia más bajas temperaturas, lo que sin duda redundará en un mayor aliciente de penetración de tecnologías solares afines a éstas aplicaciones. En nuestros escenarios supondremos un consumo de leña y bagazo-

más eficientes y en magnitudes iguales a 73×10^{12} Kcal (casi igual al contenido energético debido a la mitad del actual incremento de bosques solamente) y a 21×10^{12} Kcal (la que según el balance oficial se consumió de bagazo en 1984), respectivamente, constantes hacia los años 2005 y 2030. Finalmente se considera que se desarrolla la tercera parte del potencial hidroeléctrico calculado hasta ahora hacia el año 2005 y el 60% hacia el año 2030. De acuerdo a estas hipótesis se pueden formular los escenarios de contribución de las energías renovables respecto a los requerimientos futuros de energía en este trabajo estimados hacia los años 2005 y 2030.

Esto se efectúa en las Tablas 7.4 y 7.5.

De acuerdo a estos resultados y a los hallados en el capítulo 4 la contribución proporcional de las fuentes renovables de energía respecto a la generación de energía primaria y electricidad que se estima necesaria hacia los años 2005 y 2030 es la dada por rangos de porcentaje en la Tabla 7.5.

TABLA 7.4. ESCENARIOS DE DESARROLLO DE FUENTES RENOVABLES-
DE ENERGIA HACIA LOS AÑOS 2005 Y 2030

	AÑO 2005, 10^{12} Kcal.		AÑO 2030, 10^{12} Kcal.	
	E. Primaria	Electricidad	E. Primaria	Electricidad
Leña	71	—	71	—
Bagazo*	21	?	21	?
Solar directa y Eólica	34	4	253	27
Hydroenergía	<u>156</u>	<u>156</u>	<u>267</u>	<u>267</u>
TOTAL	279	160	612	294

* Excluye leña y bagazo.

TABLA 7.5. CONTRIBUCION DE ENERGETICOS RENOVABLES EN LOS -
AÑOS 2005 Y 2030.

	% de Energía Primaria*	% de Electricidad**
AÑO 2005	23 - 8	57 - 19
AÑO 2030	55 - 14	91 - 23

* El rango se determina al sumar a los valores extremales del intervalo de requerimientos futuros de energía, a saber, 1125.6 y 3547.8 x 10^{12} Kcal para el año 2005 y 1016 y 4240.9 x 10^{12} Kcal para el año 2030, - la cantidad de leña y bagazo (93.2 x 10^{12} Kcal) que se presume permanecerá constante hasta el año 2030. Así pues los valores extremales ya corregidos son 1218.8 y 3641 x 10^{12} Kcal para el año 2005 y ----- 1109.2 y 4334.1 para el año 2030.

** De acuerdo a nuestras estimaciones (véase sección 4.4.5) para el año- 2005 el 23% de energía primaria será usada para generación de electri- cidad y su respectivo porcentaje para el año 2030 será de 29% lo que- lleva a establecer de acuerdo a los valores extremales de los requeri- mientos futuros de energía hacia los 2005 y 2030 los siguientes ran- gos de producción de energía eléctrica: 280.32 - 837.43 x 10^{12} Kcal- y 321.67 - 1256.89 x 10^{12} Kcal para el año 2005 y 2030 respectivamen- te.

8. ESTRATEGIAS ENERGETICAS

8.1 Introducción

Todas las estimaciones de contribución de las fuentes renovables de energía para los años 2005 y 2030 están apoyadas en una serie de supuestos; desde este punto de vista, los escenarios que se plantean no son predicciones acerca de que va a pasar en el futuro, por lo contrario, son planteamientos de acción para alcanzar nuestro futuro deseado. Para llegar a establecer un futuro de baja demanda de energía sostenida cada vez con mayor presencia de recursos renovables que coadyuve a elevar el nivel de vida del mexicano, es necesario -- ejercer determinado dominio sobre el futuro para hacer realidad nuestra hipótesis. Y esto se puede lograr en buena medida si identificamos las estrategias energéticas adecuadas -- que puedan convertirse en políticas energéticas nacionales.

Así pues, en este capítulo se pretenden señalar una serie de medidas que se han identificado en ésta tesis como imposterables para avanzar en la consecución del futuro que se desea. Estas medidas son más bien de carácter general y no se pretende que sean las únicas debido a que no existe en el país toda la información necesaria que pudiera facilitarnos el asignar con detalle las estrategias energéticas que conecten la situación corriente con los escenarios deseados hacia los años 2030 y más allá.

8.2 La Estrategia: *Hacia un Futuro Energético Renovable*

Seis importantes medidas deben ser adoptadas:

- 1) Aumentar y mejorar la calidad de información relativa al uso final de la energía.
- 2) Conservación y uso adecuado del suelo y recursos forestales.
- 3) Conservación y ahorro de los hidrocarburos.
- 4) Diversificación de fuentes energéticas cuya tecnología sea mayormente nacional.

- 5) Desarrollo de fuentes apropiadas (renovables) de energía.
- 6) Mantener los subsidios a las clases más pobres.

En el primer punto se tiene como objetivo precisar las calidades y cantidades de energía de consumo actual y futura del país. Las consecuencias de saber esto son positivas y bastante se han discutido al respecto en el transcurso de la tésis.

En el punto dos se propone establecer la extensiva reforestación de bosques y selvas taladas por compañías privadas madereras y ganaderas. También se asume la explotación renovable de bosques y selvas. Parar con medidas radicales la --- actual erosión del suelo, lograr el equilibrio de cultivos - entre tierras irrigadas y no irrigadas de tal manera que producciones máximas sean alcanzadas sin el agotamiento del recurso agua y extenuación del suelo.

El uso adecuado del suelo y bosques tiene una relación con - cambios climáticos los cuales a su vez modifican los ecosistemas y la fijeción eficiente de radiación solar para la producción de alimentos.

El punto tres y cuatro tienen como propósito producir una ex tensión de las reservas de hidrocarburos, ya que, por un lado, se está reduciendo la necesidad de estos y por otro, se les está sustituyendo. Esto da por resultado un mayor tiempo para una transición más suave hacia energéticos renovables. Esto no debiera entenderse como un postergamiento del desarrollo y aplicación de las tecnologías renovables ya --- aplicables sino debe entenderse en términos de subsidiar y --- dar tiempo a la maduración del mercado recién abierto a estas tecnologías.

El punto cinco se refiere básicamente a acelerar el financia miento en investigación y desarrollo de los recursos y tecnolo gías energéticas renovables basados en los ingenios y re-- cursos endógenos del país.

En el punto seis se pretende disminuir la presión sobre nues tros bosques y selvas producto del consumo de la leña. En-- proveer a las clases más pobres del mínimo financiamiento pa ra hacer un uso más efectivo de este recurso (por ejemplo, a través de la incorporación masiva de uso de estufas de lorena), de construcción de viviendas de interés social que incorporen la helioarquitectura en las ciudades, de facilitar la entrada de tecnologías renovables al sector rural, etc.

9. CONCLUSIONES

El potencial de las fuentes renovables de energía en México, tal y como lo estimamos en este trabajo, es grande como se puede apreciar a partir de la siguiente tabla:

TABLA 9.1. RESUMEN DEL POTENCIAL DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA EN MEXICO.

	10^{12} Kcal.	No. de veces la Oferta Interna Bruta de energía de 1981
Estimación baja	2251.07	1.96
Estimación alta	18525.40	16.12

El que se utilice o no un porcentaje alto del potencial de las fuentes renovables de energía dependerá, en buena medida, de los precios internacionales y nacionales de los hidro

carburos y de los costos de las tecnologías de los energéticos renovables, sin embargo, debido a la tendencia característica de los energéticos fósiles--de los cuales depende casi totalmente nuestro país-- de incrementarse sus costos de producción y, por otro lado, el hecho de que los costos de las tecnologías de los energéticos renovables se abaten día a día como producto de las mejoras tecnológicas en esta área, nos sugieren que en México el uso de fuentes renovables de energía a gran escala puede ser un hecho real en el futuro.-- Además, las características poblacionales, morfológicas y --climatológicas de nuestro país hacen aún más viable y atractiva la entrada de las tecnologías renovables de energía, sobre todo en el sector rural en donde actualmente ya son competitivas (ver Tablas 7.2 y 7.3).

Para saber si efectivamente las fuentes renovables de energía pueden contribuir como satisfactores de nuestras necesidades energéticas, es necesario primero hacer un estudio de la demanda de energía de acuerdo al uso final que tiene la energía en nuestro país para ver para qué, cuánta y qué calidad de energía necesitamos. Una primera aproximación a este problema es la dada en el cuadro 9.1. Un análisis del uso final de la energía en México pone de manifiesto cuanta aplicabilidad en un futuro cercano pueden tener las tecnologías-solares para satisfacer todos los procesos térmicos en los -

CUADRO 5.1 . ESPECTRO DEL USO FINAL DE LA ENERGIA EN MEXICO, 1981, 10^{12} Kcal.

SECTOR	<100°C	100-400°C	>400°C	Trabajo mecánico	Liq. por tables	Electri- cidad	Total
Residencial, Comercial y Público	<u>29.74</u>	<u>104.83</u>	—	—	<u>5.49</u>	<u>22.96</u>	<u>163.02</u>
Calentamiento de agua	27.99						27.99
Cocción		104.83					104.83
Iluminación					1.40	12.63	14.02
Aparatos eléctricos						4.13	4.13
Refrigeración						3.21	3.21
Acondicionamiento del ambiente	1.75					1.61	3.36
Lavadoras bombas y elevadores						1.38	1.38
Motores de combustión interna					4.09		4.09
Industrial	<u>11.69</u>	<u>117.63</u>	<u>172.62</u>	<u>6.18</u>	<u>12.93</u>	<u>32.20</u>	<u>353.25</u>
Procesos térmicos	11.69	117.63	172.62				301.94
Tracción mecánica				6.18			6.18
Maquinaria pesada, li- gera y de transporte; motores de combustión interna para generar electricidad					12.93		12.93
Mando eléctrico y otros servicios elec- tricos						32.30	32.20
Transporte	—	—	—	—	<u>269.05</u>	<u>0.39</u>	<u>269.44</u>
Transporte de personas Vía terrestre					142.41	0.39	142.80
Transporte de carga, Vía terrestre					113.16		113.16
Aviones, barcos					13.48		13.48
Agropecuaria	—	—	—	—	<u>18.21</u>	<u>3.30</u>	<u>21.51</u>
Máquinas agrícolas (tractores, motores es- tacionarios,, trillado- doras, etc.)					18.21		18.21
Bombeo de agua						<u>3.30</u>	
T O T A L	41.43	222.46	172.62	6.18	305.68	58.85	807.22
Usos no energéticos	62.41×10^{12} Kcal.						
Gran Total	869.63×10^{12} Kcal.						

cuales se consume (ver columna uno de la Tabla 9.3) un 44% - de la energía de uso final y de esto el equivalente al 27% - de energía de uso final es calor a bajas e intermedias tempe- raturas, lo que facilita la entrada de tecnologías como la - de los colectores planos y de concentración los cuales ac- - tualmente son tecnologías maduras y competitivas. De igual - manera existe una variedad de tecnologías de energéticos re- novables capaces de generar electricidad, la cual expresada - en su base equivalente de combustible absorbe el 18% de ener- gía de uso final; entre estos procedimientos, las hidroelec- tricidades convencional y no convencional pueden jugar un pa- pel más importante que aquel que se les atribuye actualmente.

Para estimar en este trabajo la futura contribución de las - fuentes renovables de energía respecto a los requerimientos - futuros de energía, fue necesario primero calcular estos úl- timos. Así pues, tomando en cuenta el crecimiento de la po- blación, el uso eficiente de la energía y el uso de energía - por grupo social se deduce que los requerimientos futuros de energía para los años 2005 y 2030, respectivamente, estarán - dentro de los intervalos expresados en la segunda columna de la Tabla 9.2. Estas cantidades pueden llegar a representar - incrementos moderados respecto a la Oferta Interna Bruta de - 1981 (1148.506×10^{12} Kcal) y el que esto sea así, depende - en buena medida de la puesta en práctica de un vigoroso pro-

TABLA 9.2. REQUERIMIENTOS FUTUROS DE ENERGIA Y CONTRIBUCION FUTURA DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA.

	REQUERIMIENTOS FUTUROS DE ENERGIA, 10^{12} Kcal	CONTRIBUCION DE LOS ENERGETICOS RENOVABLES, 10^{12} Kcal	
		Energía Primaria	Electricidad
AÑO 2005	1125.54-3547.78	279	160
AÑO 2030	1016.42-4240.86	612	294

grama de ahorro de energía cuyo potencial práctico, estimado en este trabajo, es de un 30% a mediano plazo y de un 50% a largo plazo. Asimismo, en la tercera columna de la Tabla -- 9.2 se reportan los valores, estimados en esta tesis, de la contribución de las fuentes renovables de energía para satisfacer los requerimientos futuros de energía primaria y eléctrica, respectivamente. Estas cantidades están calculadas teniendo como premisa principal un apreciable apoyo y esfuerzo coordinado del Estado, en unión con industrias privadas y centro de investigación de ciencia y tecnología de las fuentes renovables de energía lo que debe derivarse, entre otros aspectos, en un mayor presupuesto a estos últimos.

A fin de alcanzar un sistema energético sostenido por fuentes renovables de energía, es necesario un período de transi

ción suave y relativamente largo en el que: se desarrolle - todo el potencial de ahorro de energía, se implemente una serie de cambios estructurales que tengan como finalidad hacer más afines las calidades energéticas con las tareas demandantes de energía, lo que de acuerdo a los análisis exergéticos de las tareas referidas se hace más atractivo el uso de las fuentes renovables de energía. Los cambios que a futuro proponemos son los expresados en las Tablas 9.3 y 9.4.

TABLA 9.3. EVOLUCION PORCENTUAL DEL CONSUMO DE LA ENERGIA-DE USO FINAL POR FORMA Y CALIDAD ENERGETICAS

	1981***	2005	2030
Procesos térmicos*			
$\leq 100^{\circ}\text{C}$	4.19	15	20
100 - 400 °C	23.14	26	18
$\geq 400^{\circ}\text{C}$	17.47	12	10
Líquidos portables	30.94	20	15
Electricidad**	17.94	23	29
Usos no energéticos	6.32	7	8
	100.0	100.0	100.0

* En los procesos térmicos efectuados en el rango de 100-400°C de temperatura de calor de proceso se está incluyendo el trabajo mecánico de uso industrial cogenerado con vapor.

** A la electricidad se le está cuantificando en su base equivalente de combustóleo.

*** Los valores dados para este año constituyen la base real de datos de acuerdo a nuestras estimaciones.

También en este período se puede fortalecer la infraestructura existente de ciencia y tecnología de las fuentes renovables de energía, y efectuar estudios de mayor profundidad para saber qué fuentes renovables le convienen al país explotar en el futuro, y qué papel pueden jugar en la transición los energéticos no renovables, tanto los de uso actual, como los que pueden ser viables de usarse más adelante.

TABLA 9.4. EVOLUCION PORCENTUAL DEL CONSUMO FINAL DE LA ENERGIA POR SECTORES

SECTOR	1981***	2005	2030
R C P*	21.92	24	28
Industrial**	41.45	43	38
Transporte	27.36	20	18
Agropecuario	2.96	6	8
Consumo no energético	<u>6.31</u>	<u>7</u>	<u>8</u>
	100.0	100.0	100.0

* Incluye el consumo doméstico rural estimado de leña.

** Dentro de este sector se encuentran incluidos el autoconsumo propio de Pemex, el consumo de bagazo de la industria azucarera y el consumo de leña de la pequeña industria del sector rural.

*** Los valores dados para este año constituyen la base real de datos de acuerdo a nuestras estimaciones.

El llegar a establecer un sistema energético mexicano sostenido en su mayor parte por fuentes renovables de energía no es un asunto que compete sólo al deseo, sino que requiere instrumentar varias acciones, muchas de las cuales recaen sobre el Estado y que deben allanar el camino para la entrada de los energéticos renovables. Aparte de todas las acciones -- que se han citado en líneas anteriores, el Estado debe poner en práctica una política energética que reparta con justicia social los beneficios y el bienestar que lleva consigo el hacer uso de la energía; permitiendo el fácil acceso de las -- tecnologías renovables de energía a los grupos marginados -- del sector rural y urbano. Es necesario también que esta política energética ayude a restablecer el equilibrio ecológico y el uso racional de bosques, selvas, tierra y agua. --- (ver capítulo 8).

El diagnóstico de las fuentes no renovables de energía (ver capítulo 6) nos muestra hasta el momento que, una vez agotadas las reservas de nuestros hidrocarburos y dado el papel -- que desempeña en nuestra economía, ningún otro energético no renovable será capaz de sustituirlo, por lo que el país tendrá que pasar hacia una diversificación energética pero sostenida cada vez más en las fuentes renovables de energía, ya que el potencial energético de estas es grande y pueden satisfacer una gran variedad de usos finales (ver capítulo 7).

Toda esta serie de aspectos y el hecho mismo de que la explotación y el uso de fuentes renovables son, en términos generales de impacto ambiental más benigno que el de las fuentes no renovables de energía nos muestran, augurándonos que el día de mañana tendremos un escenario energético renovable.

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. Alonso Concheiro, Antonio y Luis Rodríguez Viqueira. - "Alternativas energéticas". México, CONACYT, (1985)--- 583 págs.
2. Alonso Concheiro, Antonio y Luis Rodríguez V. "Diagnóstico y pronóstico sobre energía solar, biomasa y energía eólica". México, Instituto de Ingeniería, UNAM. - (1983). Volumen III (Segunda Parte), pp. 724-758.
3. Ettiene, G. Y H. Menchaca, "El Petróleo y la Petroquímica", México, ANUIES, 1975, pp. 32-49.
4. Ferrán Riquelme, Flavio. "El desarrollo nacional de pequeñas centrales hidroeléctricas". México, Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1985, (Vol. 9, No. 4), - pp. 132-141.
5. García-Colín Scherer, Leopoldo, "Introducción a la termodinámica clásica", México, Edit. Trillas 1970, pp. - 43-46.
6. García-Colín Scherer, Leopoldo, "Introducción a la termodinámica de sistemas abiertos", México, El Colegio de México, 1981, pp. 9-22.

7. Guzmán O., "Las nuevas fuentes de energía en México; - Situación actual y perspectivas de desarrollo", Méxi-- co, El Colegio de México, 1983.
8. Guzmán, Oscar y Miguel Wionczek, et.al. "Uso eficiente y conservación de la energía en México; diagnóstico y - perspectivas". México, El Colegio de México, 1986, - pp. 328-340.
9. J.P., Holman, "Thermodynamics", México, Ed. Mc Graw-Hill, 1975 (2da. edición en español), pp. 30-42.
10. Kendall, H., et.al. Energy strategies: "Toward a solar future". Union of Concerned Scientistis, U.S.A., 1980, pp. 1-59.
11. Martínez Leal, Ana Ma. "Biomasa: fuente de energía".- Ed. Revista Solar, A.N.E.S., México, 1984, Núm. 7, pp.- 3-6.
12. Martínez, Manuel y Ruth Aguilar. "Abastecimiento de -- energía eléctrica rural: una propuesta para el año --- 2000". Trabajo presentado en la X Reunión Nacional de Energía Solar, México, octubre, 1986.
13. Martínez Negrete, M. "Global workshop on end-use ----

oriented energy strategies. The case of Mexico". Grupo de Energética, Fac. de Ciencias, México, UNAM, mayo, 1984, 100 p.

14. Martínez Negrete, M., Notas de clase de energética (no publicadas). Facultad de Ciencias, México, UNAM, pp. - 43-60.
15. Sachs, Wladimir M., "Diseño de un futuro para el futuro", Ed. Fundación Javier Barros Sierra, A.C., México, (1980), pp. 42-57.
16. SAHOP. Programa Nacional de Aprovechamiento de Energía Solar y Colaterales (versión preliminar), México, (1981).
17. Schutz, Fernando. "Uso eficiente de la energía en México", (versión preliminar). Ed. Instituto de Investigaciones Eléctricas, México, 1982, 172 pp. (10 anexos).
18. SEMIP, Balance Nacional de Energía 1982-1984, Ed. SEMIP México (1986), 61 pags.
19. SARH, Vademécum Forestal Mexicano, D.G.I.S.F., Ed. - SARH, México (1980).

20. Vázquez, S. "Recursos forestales, uso actual, crecimiento, rendimiento y residuos". Sistema Alimentario - Mexicano y S.A.R.H., México, (1980), pp. 19-25.

21. Wionczek, Miguel, Gerald Foley y Ariane van Buren. "La Energía en la Transición del Sector Agrícola de Subsistencia", Ed. El Colegio de México, México, 1983, pp. 75.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. Ahern, John E. "The exergy method of energy systems -- analysis". New York, editorial John Wiley and Sons, - 1980.
2. Alonso Concheiro, Antonio y Luis Rodríguez V. "Alternativas energéticas". D.F., editorial CONACYT y FCE, - 1985.
3. Alonso Concheiro, Antonio y Luis Rodríguez V. "Diagnóstico y pronóstico sobre energía solar, biomasa y energía eólica". D.F., editor Instituto de Ingeniería, - UNAM, 1983.
4. Autores varios. "Perspectivas de los energéticos al -- año 2000". México, editores I.I.E y C.F.E, 1982.
5. Autores varios. "Tecnologías energéticas del futuro". - México, editor Programa Universitario de Energía, --- UNAM, 1983.
6. Autores varios. "Uso eficiente y conservación de la -- energía I". México, editor Programa Universitario de Energía, UNAM, 1982.

7. Bauer Ephrussi, Mariano et al (coordinadores). "Planeación energética en México ¿mito o realidad?". D.F., - Ed. El Colegio de México y el Programa Universitario - de Energía, UNAM, 1982.
8. Comisión Federal de Electricidad, "Potencial hidroeléctrico de la República Mexicana". D.F., editor Departamento de Anteproyectos de Plantas Hidroeléctricas, - 1984.
9. De Diego M., Manuel. "Consideraciones sobre la racionalización del uso de la energía en los sectores habitacional, comercial y de alumbrado público", México, -- editor SEPAFIN, seminarios de economía de la energía, 1978.
10. Ettiene, Guillermo y Héctor Menchaca, "El petróleo y - la petroquímica", México, editor ANUIES, 1975.
11. Ferrán Riquelme, Flavio. "El desarrollo nacional de pequeñas centrales hidroeléctricas", México, revista -- del Instituto de Investigaciones Eléctricas, Vol. 9, - No. 4, 1985.

12. García-Colín Scherer, Leopoldo. "Introducción a la termodinámica clásica". México, editorial Trillas, 1970.
13. García-Colín Scherer, Leopoldo. "Introducción a la termodinámica de sistemas abiertos", D.F., editor El Colegio de México, 1981.
14. Guzmán, Oscar. "Las nuevas fuentes de energía en México. Situación actual y perspectivas de desarrollo", D.F., editor El Colegio de México, 1983.
15. Guzmán, Oscar et al. "Uso eficiente y conservación de la energía en México: diagnóstico y perspectivas". D.F., editor El Colegio de México, 1986.
16. Holman, J.P. "Thermodynamics", U.S.A., editorial McGraw-Hill, 1974.
17. Instituto Mexicano del Petróleo. "Energéticos", Tomos I, II y III, México, editores IMP y PEMEX, 1973.
18. Kendall H. et al. "Energy strategies. Toward a solar future". U.S.A., editores Union of Concerned Scientists, 1980.
19. Lovins, Amory. "Soft energy paths", England, Ed. --

Penguin Books, 1977.

20. Martínez Leal, Ana Ma. "Biomasa: fuente de energía".- México, editor ANES, revista Solar, No. 7, 1984.
21. Martínez, Manuel y Ruth Aguilar. "Abastecimiento de -- energía eléctrica rural: una propuesta para el año --- 2000". México, trabajo presentado en la X Reunión Nacional de Energía Solar, 1986.
22. Martínez Negrete, Marco. "Global workshop on end-use - oriented energy strategies. The case of Mexico". D.F., Grupo de Energética, Facultad de Ciencias, UNAM, 1984.
23. Martínez Negrete, Marco. Notas de clase de energética- (no publicadas). Grupo de Energética, Facultad de --- Ciencias, UNAM.
24. Maxwell Considine, Douglas. "Energy technology hand--- book", New York, editorial Mc Graw Hill, 1977.
25. Petróleos Mexicanos. "Memoria de labores 1981", Méxi- co, editor PEMEX, 1982.
26. Petróleos Mexicanos. "Memoria de labores 1984", Mé-- xico, editor PEMEX, 1985.

27. Rodríguez, Víctor y Patricia Peña. "Aspectos relevantes para formular la estrategia energética en México".- México, Tesis de grado de licenciatura, Facultad de - Ciencias, UNAM, 1984.
28. Ross, Marc y Robert H. Socolow. "Efficient use of energy: a physics perspective". New York, editor American Physical Society (APS), January, 1975.
29. Sachs, Wladimir M., "Diseño de un futuro para el futuro", México, editor Fundación Javier Barros Sierra, - A.C., 1980.
30. SAHOP. Programa Nacional de Aprovechamiento de Energía Solar y Colaterales (versión preliminar). México, --- 1980.
31. SARH, Vademécum Forestal Mexicano, México, editor - D.G.I.S.F., 1980.
32. Schutz, Fernando. "Uso eficiente de la energía en México". (versión preliminar), México, editor Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1982.

33. Secretaría de Programación y Presupuesto. Agenda Estadística 1984. México, editor Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática, 1984.
34. SEMIP, Balance Nacional de Energía 1982-1984, México, editor SEMIP, 1986.
35. SEPAFIN. Balance Nacional de Energía de 1981, México, editor SEPAFIN, 1982.
36. SEPAFIN. Censo Nacional sobre el Consumo de la Energía en la Industria. México, 1981.
37. SEPAFIN, IMP. Encuesta sobre el Consumo de la Energía en la Industria. México, 1981.
38. Vázquez, S. "Recursos forestales, uso actual, crecimiento, rendimiento y residuos". México, editores SARH y Sistema Alimentario Mexicano, 1980.
39. Viqueira Landa, Jacinto. "México en la encrucijada energética". México, Ed. Editorial Mexicana, 1981.
40. Viqueira Landa, Jacinto. Notas (no publicadas) de la asignatura "Energía y desarrollo económico", México, Sección de Energética, División de Estudios de Posgrado

de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

41. Wionczek, Miguel, Gerald Foley y Ariane van Buren. "La energía en la transición del sector agrícola de subsistencia", México, editor El Colegio de México, 1983.

ANEXO 1. CONSUMO DE LA ENERGIA POR GRUPO SOCIAL

El consumo de la energía por familia no es uniforme en el país sino más bien paralelo al nivel de ingreso familiar. Esto se observa en la Tabla A.1.1 el cual es un estudio hecho para el año de 1977 que muestra la relación entre gasto en consumo de energía y nivel de ingreso por familia y por semestre tomado de diferentes estratos sociales. Estos se muestran ordenados de los más pobres a los más ricos en la tabla mencionada.

De acuerdo con estos datos podemos agrupar a las familias en cuatro grupos sociales, quienes acusan marcadas diferencias en sus niveles de ingreso y en sus gasto en el consumo de energía. Estos grupos son, partiendo siempre de los más pobres a los más ricos, el que conforma el 40.8% es de las familias más pobres, seguido del 42.1% de familias que tienen

TABLA A.1.1

Estratos por nivel de ingreso familiar* (pesos mexicanos de 1977)	% de Familia	% Acumulado de familias	Gasto* promedio en Energía por Estratos familiares
< 4000	10.1	10.1	144
4201 - 6000	6.1	16.2	235
6001 - 8100	6.6	22.8	288
8101 - 10800	8.5	31.3	421
10801 - 14400	9.5	40.8	529
14401 - 18900	10.2	51.0	728
18901 - 25800	12.7	63.7	813
25801 - 34350	10.4	74.1	1009
34351 - 45000	8.8	82.9	1243
45001 - 60900	7.1	90.0	1414
60901 - 80400	4.3	94.3	1675
80401 - 10800	2.9	97.2	1908
> 10800	2.8	100.0	3383

* El ingreso familiar y el gasto en consumo de energía es-
semestral.

FUENTE: Rodríguez, Víctor y Díaz, P. "Aspectos Relevantes-
para formular la estrategia Energética en México".-
Tesis de Grado de Licenciatura. Fac. de Ciencias,-
UNAM (abril, 1984)

niveles de ingresos medios bajos, el 11.4% de familias de al-
tos ingresos medios y finalmente el 5.7% de familias que ---
constituyen la clase rica del país. A estos grupos les deno-
minaremos, respectivamente, la clase de los pobres, la clase
media baja, la clase media alta y la clase rica. El gasto -

promedio en consumo de energía de cada grupo social se determinó como un promedio ponderado de los gastos promedio de -- los diferentes estratos según el nivel de ingreso familiar -- dado en la tabla anterior y que se consideran característi-- cos de pertenecer a uno de los cuatro grupos sociales mencio-- nados anteriormente. La fórmula que se utilizó para calcu-- lar el gasto promedio semestral en consumo de energía por -- grupo social y en la cual se utilizan los datos de la tabla-- anterior es:

$$\text{Gasto promedio semestral en consumo de energía} = \frac{\% \text{ de familias} \times \text{gasto promedio semestral en energía}}{\% \text{ acumulado de familias}}$$

El uso relativo de energía se determinó al comparar el gasto promedio semestral en el consumo de energía de los tres grupos que tienen los menores ingresos con respecto al gasto co-- rrespondiente al grupo de los ricos. A fin de representar -- en términos relativos el uso de energía de los diferentes -- grupos sociales se eligió designar el valor de uno al gasto-- promedio semestral en energía del grupo de los ricos. La Ta-- bla A.1.2 muestra los datos como finalmente nos interesan.

Es importante señalar que el uso relativo de la energía en-- tre los diferentes grupos sociales se refiere solamente al -- consumo directo o indirecto de energía comercial y no consi-- dera el consumo no comercial de energía como el consumo no --

comercial de la leña en el sector rural. No obstante, en la Tabla A.1.2 los usos relativos de la energía entre los distintos grupos sociales son representativos de las desigualdades que existen en México en el consumo de energía en las distintas capas sociales.

TABLA A.1.2

Grupo Social	Nivel de Ingreso Semestral	Gasto Promedio Semestral en Consumo de Energía	Uso Relativo de Energía
Pobres	<14 401	323	0.12
Media Baja	14 401-45400	948	0.27
Media Alta	45 001-80400	1544	0.58
Ricos	>80400	2646	1.0

ANEXO 2. EL ALGORITMO DE LOS ESCENARIOS

En este algoritmo, los requerimientos futuros de energía primaria son puestos en función de tres parámetros: ahorro de energía, crecimiento de población y consumo de energía por grupo social. Estos parámetros tienen dos valores para el caso de ahorro de energía y crecimiento de población y tres valores para el parámetro consumo de energía por grupo social que corresponden a las hipótesis que en esta tesis se sustentan.

Nos interesa estimar los requerimientos futuros de energía hacia los años 2005 y 2030 por lo que tendremos dos paquetes de resultados respectivamente.

Por último conviene recordar que el año base que se está considerando es el de 1981 y por tanto va a ser vital el cono--

cer el consumo total interno de energía primaria en el mencionado año.

Procederemos a simbolizar el modelo.

Sean:

P_{ix} , i = baja, alta; x = 2005, 2030, el incremento proporcional de población respecto a la de 1981 según la hipótesis i para el año x .

GP_{jx} , j = corriente, intermedio, moderado; x = 2005, 2030, - el incremento proporcional en el consumo de energía por grupo social según la hipótesis j en el año x .

A_{kx} , k = bajo, alto; x = 2005, 2030, el ahorro de energía según la hipótesis k factible en el año x .

E_{Ljkx} , es la energía primaria que se requerirá en el año x - según las hipótesis de crecimiento de población i , de aumento en el consumo de energía por grupo social j y aumento en el ahorro de energía k .

E_0 es la energía primaria comercial consumida internamente - en México en 1981. El valor de esta energía es de -----
 $1148,506 \times 10^{12}$ Kcal.

El algoritmo matemático se construye de la siguiente manera:

- 1) Partiendo de 1981, la energía primaria que se requerirá hacia el año x debido a un incremento de población P_{ix} es:

$$E_{ix} = E_0 + P_{ix} E_0 = (1 + P_{ix}) E_0$$

- 2) Si al paso anterior introducimos un incremento en el consumo de energía por grupo social GP_{jx} se requerirá un total de energía primaria de:

$$E_{ijx} = (1 + P_{ix}) E_0 + (1 + P_{ix}) GP_{jx} E_0 = (1 + P_{ix}) (1 + GP_{jx}) E_0$$

- 3) Al introducir medidas de ahorro de energía el total de energía que se requerirá disminuye debido al decremento A_{kx} de energía primaria en:

$$E_{ijkx} = (1 + P_{ix}) (1 + GP_{jx}) E_0 - (1 + P_{ix}) (1 + GP_{jx}) A_{kx} E_0$$

$$= (1 + P_{ix}) (1 + GP_{jx}) (1 - A_{kx}) E_0$$

Este último resultado es el algoritmo que se utiliza para conformar la Tabla 4.10.

ANEXO 3. CALCULO DEL POTENCIAL DE LAS FUENTES RENOVABLES
DE ENERGIA

SOLAR DIRECTA

Superficie de la Rep. Mexicana	2 000 000 km ²
Radiación promedio diaria	450 cal/cm ²
Eficiencia del colector plano	50 %
1 km ² = 10 000 000 000 cm ² = 100 Has	

Estimación Alta

$$1\% \times 2 \times 10^{16} \text{ cm}^2 \times 450 \text{ cal/cm}^2 \times 365 \times 50\% = 16\,425 \times 10^{12} \text{ Kcal.}$$

Estimación Baja

$$0.1\% \times 2 \times 10^{16} \text{ cm}^2 \times 450 \text{ cal/cm}^2 \times 365 \times 50\% = 1\,642.5 \times 10^{12} \text{ Kcal.}$$

PLANTACIONES ENERGETICAS

Eficiencia de conversión solar (10) de 1% 37 Ton/Ha de materia orgánica

Contenido de calor de la materia orgánica = 1.58×10^{10} J/Ton

Estimación Alta

$$\frac{1\% \times 2 \times 10^8 \text{ Has} \times 74 \text{ Ton/Ha} \times 1.58 \times 10^{10} \text{ J/Ton} \times 48\%}{4.1868 \text{ J/cal}} = 269 \times 10^{12} \text{ Kcal}$$

Estimación Baja

$$\frac{1\% \times 2 \times 10^8 \text{ Has} \times 37 \text{ Ton/Ha} \times 1.58 \times 10^{10} \text{ J/Ton} \times 48\%}{4.1868 \text{ J/cal}} = 135 \times 10^{12} \text{ Kcal}$$

RESIDUOS, DESECHOS E INCREMENTO FORESTAL

Incremento anual de los bosques = $54 \times 10^6 \text{ m}^3$ de madera

Contenido de calor de la madera = 3500 Kcal/kg

Densidad = $0.753 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Energía debido a la mitad del incremento forestal IF

$$\text{IF} = 54/2 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 0.753 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 3500 \text{ Kcal/kg} = 71.16 \times 10^{12} \text{ Kcal}$$

Biogás (desechos animales)	$7.03 \times 10^{12} \text{ Kcal}$
Residuos Agrícolas	$12.48 \times 10^{12} \text{ Kcal}$
Desechos Urbanos	$0.01 \times 10^{12} \text{ Kcal}$
Incremento Forestal	<u>$71.16 \times 10^{12} \text{ Kcal}$</u>
TOTAL	$90.68 \times 10^{12} \text{ Kcal}$

HIDROELECTRICIDAD

Potencial hidroeléctrico = 172 193 Gwh

1 Gwh⁵⁸ = 2770 x 10⁶ Kcal

Estimación Alta

172 193 Gwh x 2770 x 10⁶ Kcal/Gwh x 100% = 477 x 10¹² Kcal

Estimación Baja

172 193 Gwh x 2770 x 10⁶ Kcal/Gwh x 50% = 234 x 10¹² Kcal

58 - Equivalencia usada en el balance nacional de energía de 1984