



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

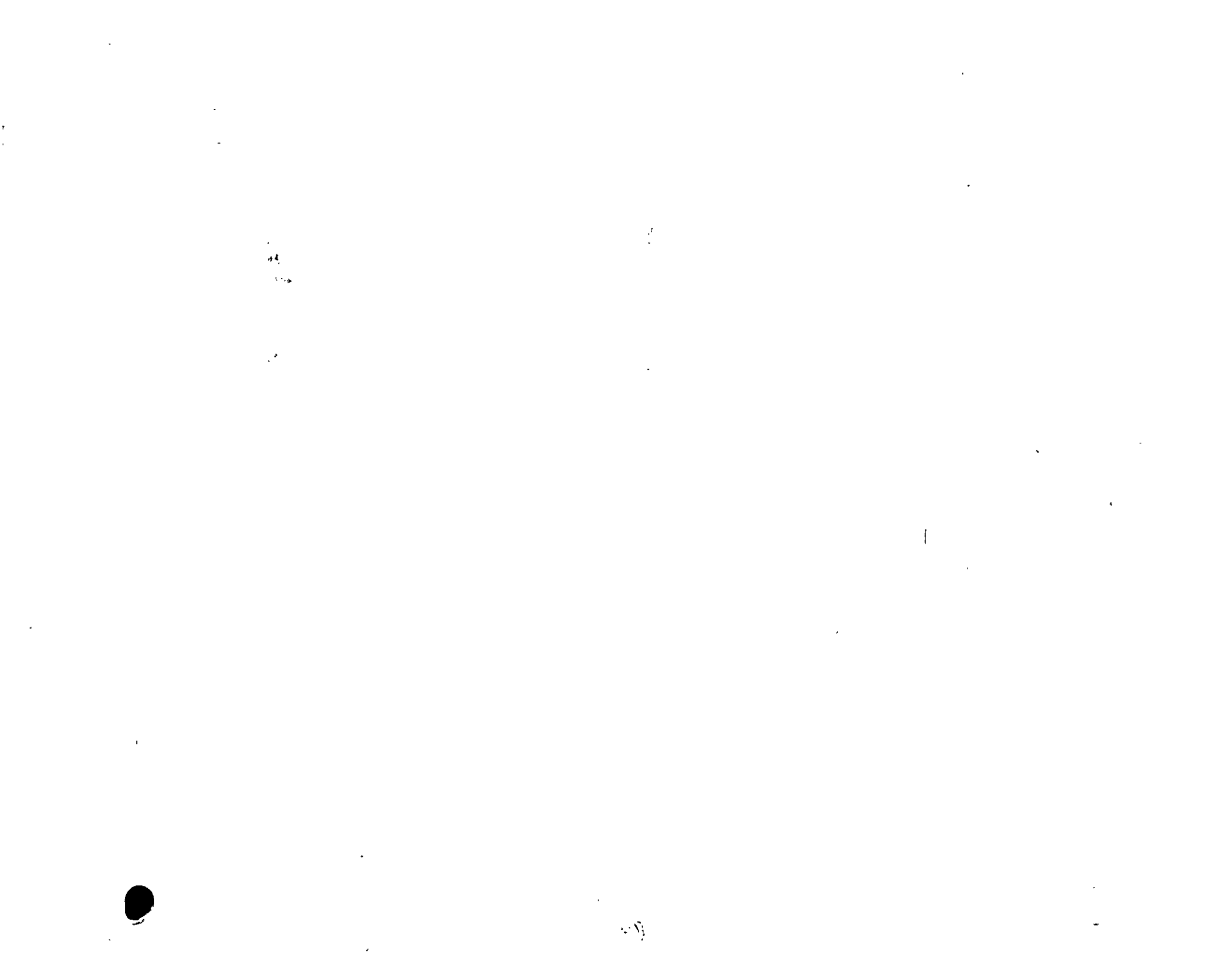
# CURSOS INSTITUCIONALES

CURSO INTRODUCTORIO AL SECTOR ENERGÉTICO  
NACIONAL

Del 30 de julio al 27 de agosto de 2001

## *APUNTES GENERALES*

Coordinador: Ing. Martiniano Aguilar Rodríguez  
Secretaría de Energía  
Julio-agosto /2001



**CURSO INTRODUCTORIO AL SECTOR  
ENRGÉTICO NACIONAL**

**ING. MARTINIANO AGUILAR RODRIGUEZ**

*JULIO DE 2001*

# ENERGÍA Y SOCIEDAD

La operación de nuestra sociedad tecnológica depende de la producción y uso de grandes cantidades de energía

Muchos de los presentes problemas están muy relacionados con los problemas de:

- Distribución de energía.
- Disminución de los suministros de combustible fósiles.
- Efectos ambientales de los varios métodos de producción y utilización de la energía.

La energía no solo es comodidad, es también una idea, un concepto intelectual que permanece en la historia del pensamiento moderno, científico y tecnológico.

El problema del uso y disponibilidad de la energía es común en menor o mayor medida a todas las naciones del mundo; mientras los países industrializados dependen fuertemente de los combustibles fósiles sus procesos industriales, los países en desarrollo también desean incrementar sus capacidades tecnológicas y así el uso de la energía en sus varias formas.

Adicionalmente, como los depósitos de combustible fósiles no están distribuidos uniformemente en el mundo, existen profundos aspectos económicos y políticos asociados a su uso.

La energía, que es la habilidad para ejecutar trabajo físico, llama la atención principalmente como una entrada para los procesos económicos y como un bien intermedio. Por lo general, la energía está valuada como una entrada en algún proceso de producción o utilización que resulta en un producto final.

El desarrollo económico ha ido de la mano con el aumento de energía usada per cápita, empezando en la historia con la energía solar contenida en las plantas y animales, continuando con la tracción animal, energía del viento y los combustibles fósiles.

Las entradas de energía siempre producen contaminación, puesto que se tienen productos de desecho junto con los bienes deseados.

Existe una fuerte relación entre el estándar o nivel de vida como se mide per cápita del producto interno bruto y el consumo de energía per cápita.

Existe un profundo desbalance del consumo de energía en el mundo: menos del 50% de la población mundial consume cerca del 90% de su energía comercial. Está es una de las principales razones de la enorme brecha entre los países industrializados y las naciones subdesarrolladas; los E.U.A. consumen aproximadamente la tercera parte de la energía mundial a pesar de que su población es solo el 6% del total mundial. La energía se usa en cuatro sectores principales:

- Residencial y comercial.
- Transporte.
- Industria.
- Generación de potencia eléctrica.

En general, el mundo ha entrado en una era de profundas alteraciones en los patrones y tendencias en el campo de la energía. Las relaciones de precios, fuentes de suministro y en un amplio sentido, la seguridad nacional, se ha llenado de incertidumbre y conflictos.

Durante las últimas décadas ha habido una creciente tendencia de la industria y el transporte a volverse más intensivos de energía; la mayoría de las industrias responden para incrementar la demanda de producción volviéndose más intensivos de energía y menos intensivos de trabajo. Esto se ha visto principalmente en la industria automotriz que ha incrementado su automatización reemplazando la labor manual en maquinas que usan energía.

Probablemente en las próximas décadas habrá una declinación en el uso de la automatización y regreso al uso del trabajo, sin embargo, la energía de combustible fósiles ha sido útil en multiplicar la habilidad del hombre para realizar trabajo, moverse el mismo y sus bienes y proveer confort físico.

La energía se necesitará en el futuro para mover nuevas plantas de tratamiento de aguas de desecho, para el reciclado de materiales y para la creación de nuevos trabajos. El reto permanece para suministrar energía en una forma compatible con el uso inteligente del ambiente y con los recursos de la tierra. En la tabla se muestran las dimensiones de la energía, que incluye lo siguiente:

- Fuente
- Procesamiento
- Políticas

## DIMENSIONES DE LA ENERGÍA

### FUENTES

- ° Aceite (Petróleo)
- ° Gas
- ° Carbón
- ° Hidráulico
- ° Fisión nuclear
- ° Fusión nuclear
- ° Solar
- ° Geotérmica
- ° Gradi. térmicos naturales
- ° Viento
- ° Mareas
- ° Corrientes y océanos
- ° Madera

### PROCESAMIENTO

- ° Exploración
- ° Extracción
- ° Concentración
- ° Transportación
- ° Refinación
- ° Almacenamiento
- ° Conversión
- ° Distribución
- ° Consumo

### POLITICAS

- ° Investigación y desarrollo
- ° Ambiente
- ° Precios
- ° Impuestos
- ° Mano de obra
- ° Conservación
- ° Seguridad nacional
- ° Propiedad
- ° Competencia
- ° Organización gubernamental
- ° Tierra
- ° Comercio exterior

## HISTORIA DEL USO DE LA ENERGÍA

El arte de manipular la energía ha sido un componente esencial de la habilidad humana para sobrevivir y desarrollarse socialmente. Cuando la gente aprendió por primera vez a usar el combustible para calentamiento, constituyó la primera etapa en el uso de la energía.

El uso de la energía ha sido importante en el desarrollo de un suministro de combustible para proveer confort físico y para mejorar la calidad de vida, mas allá de los rudimentos de supervivencia.

La utilización de la energía depende de la disponibilidad de recursos y del desarrollo de habilidades tecnológicas para usarla. Los recursos energéticos siempre han estado disponibles para los humanos.

La mayoría de la energía utilizada por la humanidad se ha originado en el sol; en efecto, la energía solar:

- Es absorbida y almacenada en las plantas por fotosíntesis y provee la energía que se encuentra en los frutos.

- Es el origen del carbón y del petróleo, derivados de plantas descompuestas que vivieron hace millones de años.

- Mueve el viento en la atmósfera que acciona los molinos de viento, produce la lluvia que llena los ríos y mueve las ruedas hidráulicas.

Fue solo hasta tiempos recientes que se empezó a utilizar completamente el recurso de los combustibles fósiles, con frecuencia se dependía de:

- El calentamiento solar
- La tracción animal
- La energía del viento

El desarrollo de dispositivos de potencia para convertir la energía en trabajo útil ha sido un desarrollo histórico reciente.

La domesticación prehistórica de animales representó una multiplicación de los recursos de potencia entonces disponibles; aún en la actualidad se continúa usando al caballo y a los bueyes para cultivos y transportación.

En la mayoría de la historia de la humanidad, la población de una región creció conforme al control y consumo de energía se incremento. El crecimiento de la población ha tenido lugar en oleadas que podría decirse que reflejan saltos de quantum en el uso de la energía.

La habilidad de los gobiernos para hacer e implementar decisiones para preservar una sociedad, es también una función del suministro de energía disponible; con cantidades limitadas de energía, el desarrollo económico y cultural puede progresar solo hasta los límites de las eficiencias de las herramientas y maquinas por una civilización.

Las civilizaciones pasadas progresaron rápidamente después de aprender a dominar una nueva fuente de energía y cuando alcanzaron la cima, se marcaba

el tiempo hasta que alguna nueva forma se encontraba para dominar cantidades adicionales de energía per capita por año.

Para los primeros millones de años de la mayoría de la existencia del hombre, la energía requerida para activar sus culturas, fue la energía de su cuerpo, principalmente sus músculos, que es muy pequeña, cerca de 1/10 de un hp/adulto masculino. Como consecuencia, todas las culturas humanas fueron simples y primitivas, hasta que la energía fue dominada y utilizada en la forma de plantas cultivadas y animales domesticados.

Los excedentes en alimentos y la seguridad económica relativa elevó la población y como consecuencia se desarrollaron estructuras complejas sociales y políticas. Grandes obras públicas como sistemas de irrigación y pirámides se llevaron a cabo; herramientas, la mayoría de las cuales nunca se necesitaron antes, fueron proyectadas y mejoradas, y la tecnología se movió hacia adelante rápidamente.

En la edad media se desarrollaron intensivamente las tecnologías de potencia del viento y de ruedas hidráulicas; en Europa las grandes fuentes de potencia fueron: el caballo, el molino de viento y el molino hidráulico. Equipos de caballos jalaban pesados arados impulsando una revolución agrícola en las llanuras del norte. El molino de viento ayudó a recuperar terrenos del mar para sus países; la potencia del agua se aplicó a toda clase de procesos industriales, desde el molido de minerales hasta hacer la masa para la cerveza.

A finales del siglo XIII, los bosques de Inglaterra estaban tan deforestados que se requirió de un nuevo combustible, cambiando al quemado de carbón a pesar de su humo perjudicial y así se continuó con las siguientes etapas de desarrollo tecnológico

La Tecnología del Carbón.

La Máquina de Vapor.  
-Termodinámica

El Carbón y El Gas Natural.

La Energía del Viento.

Electricidad.

Petróleo

La Máquina de Combustión Interna.

Energía Solar.

Comparación de Máquinas de Potencia.



UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL (SI)			PREFIJOS PARA POTENCIAS DE 10		
	UNIDAD	SÍMBOLO	POTENCIA	PREFIJO	SÍMBOLO
UNIDAD BÁSICA					
° Longitud	metro	m	$10^{12}$	tera	T
° Masa	kilogramo	Kg	$10^9$	giga	G
° Tiempo	segundo	s	$10^6$	mega	M
° Temperatura	Kelvin	k	$10^3$	kilo	k
° Corriente eléctrica	ampere	A	$10^{-2}$	centi	c
			$10^{-3}$	milli	m
UNIDADES DERIVADAS					
° Velocidad	metro / segundo	m/s			
° Área	metros cuadrados	m <sup>2</sup>			
° Fuerza	newton	N=kgm/s <sup>2</sup>			
° Energía	joule	J=Nm			
° Potencia	watt	W=J/s			

**TABLAS.- SISTEMAS DE UNIDADES**

# ENERGIA

- EL PROCESO ENERGETICO
- FUENTES
- CONSUMOS
- PROCESOS DE CONVERSION
- TECNOLOGIAS ACTUALES
  - MEXICO
  - MUNDIALES
- TENDENCIAS TECNOLOGICAS ESPERADAS

# EL PROCESO ENERGETICO

- USO FINAL DE LA ENERGIA
- TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO
- OBTENCION Y CONVERSION
- EFECTOS AMBIENTALES

# USO FINAL DE LA ENERGIA

- Energía Mecánica. Fuerza motriz.
- Energía térmica. Calentamiento/enfriamiento
- Energía eléctrica. Sistemas de cómputo, comunicaciones

# TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

- TRANSPORTE

- Energía Eléctrica. Líneas de transmisión
- Combustibles.

- ALMACENAMIENTO

- Energía eléctrica. Baterías
- Energía potencial de cuerpos de agua
- Combustibles. Hidrógeno

# OBTENCION Y CONVERSION

- FUENTES PRIMARIAS

- Solar
- Química. Combustibles
- Atómica. Fisión - Fusión
- Geotérmica
- Hidráulica
- Eólica
- Maremotriz

- CONVERSION

- Aprovechamiento directo
- A Energía Eléctrica

# EFFECTOS AMBIENTALES

- Impactos ambientales durante construcción
- Impactos ambientales durante extracción de combustibles
- **Impactos ambientales durante la operación**
  - **Emisiones atmosféricas**
- Impactos ambientales durante la transmisión

# FUENTES PRIMARIAS DE ENERGIA

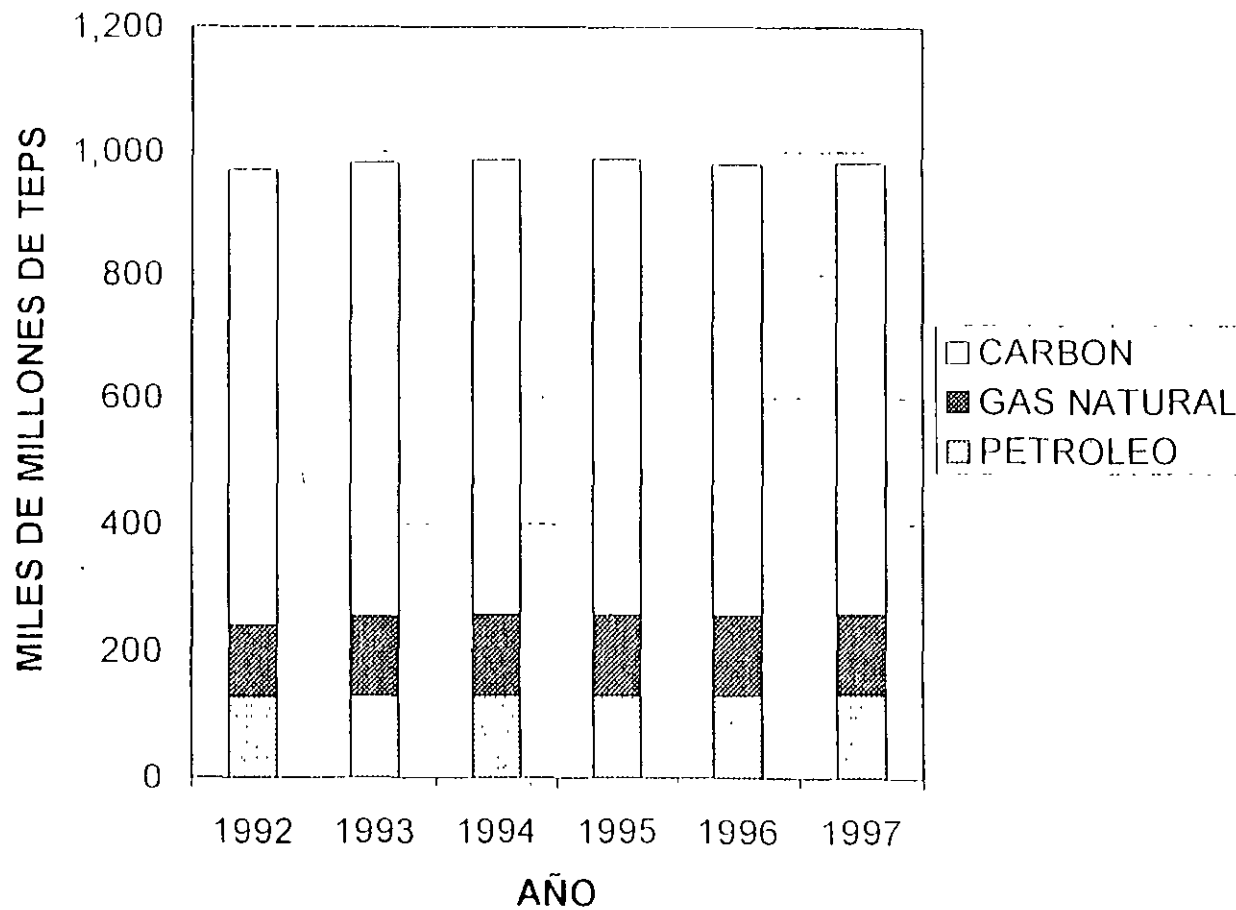
- Combustibles fósiles
  - Carbón
  - Petróleo
  - Gas Natural
  - Orimulsión
- Combustibles Nucleares
- Potencial Hidráulico
- Potencial Eólico
- Potencial Solar
- Potencial Geotérmico
- Fuentes renovables



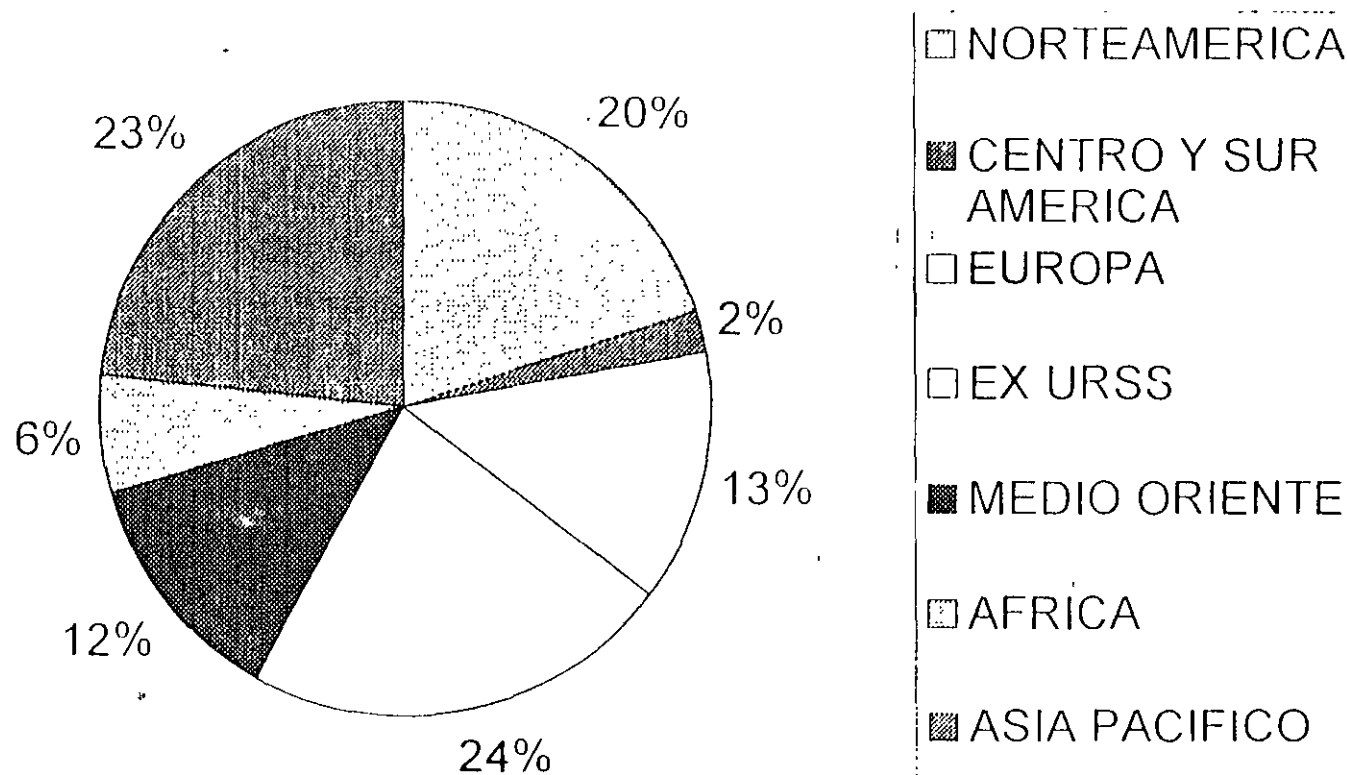
# NOTA SOBRE LA ORIMULSION

- Bitumen existente en el Orinoco
- Reservas 42.4 TMT
- Poder calorífico 60% del combustóleo
- Uso como emulsión en agua
- Reciente aplicación
- ***NO INCLUIDO EN LAS CIFRAS DE RESERVAS Y CONSUMOS.***

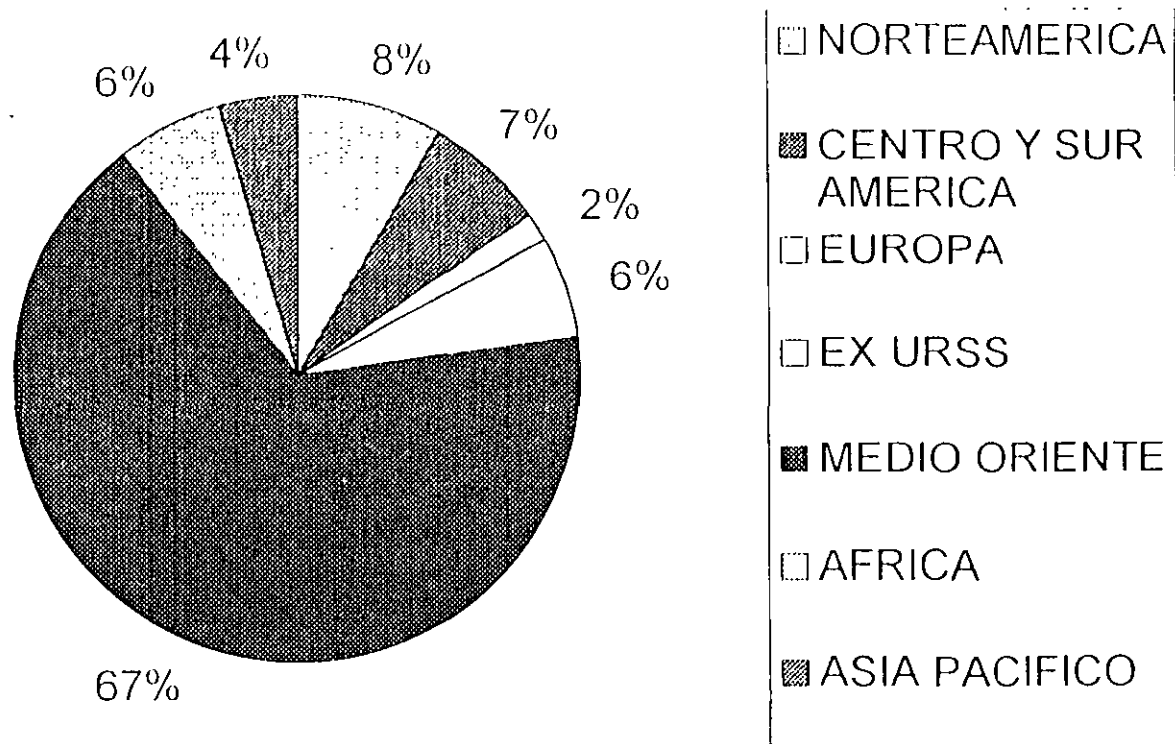
# RESERVAS MUNDIALES DE COMBUSTIBLES FOSILES



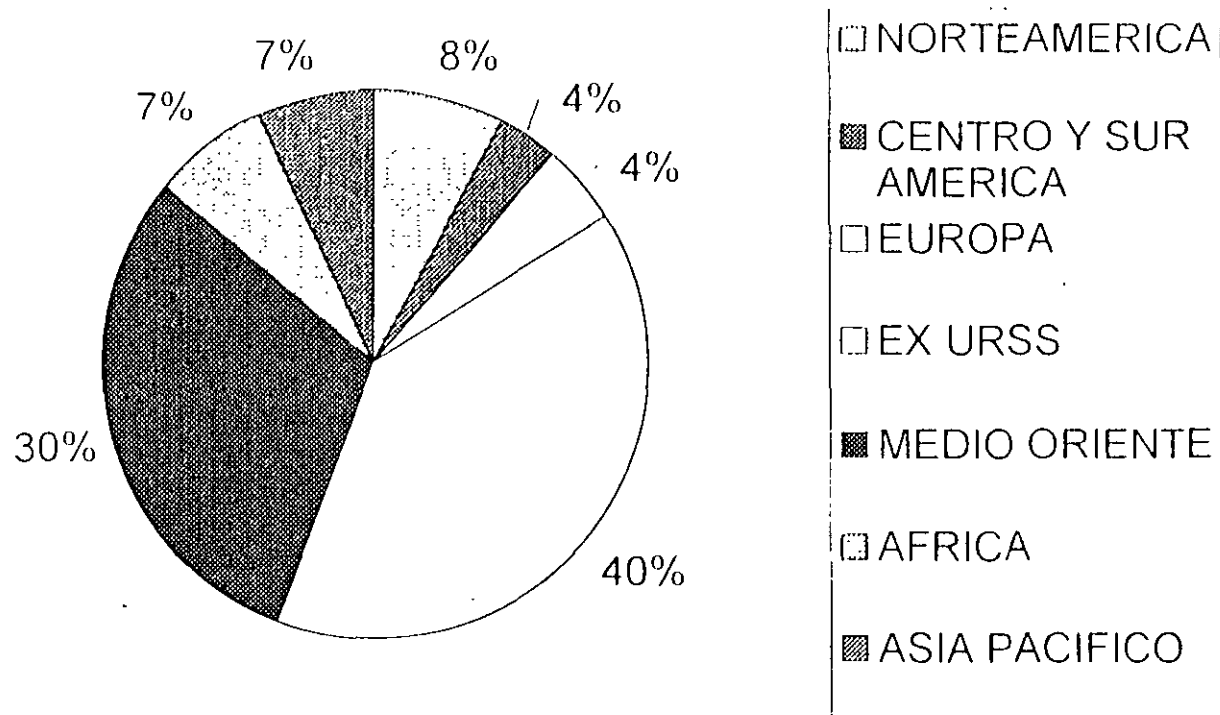
# DISTRIBUCION DE LAS RESERVAS POR REGION (1997)



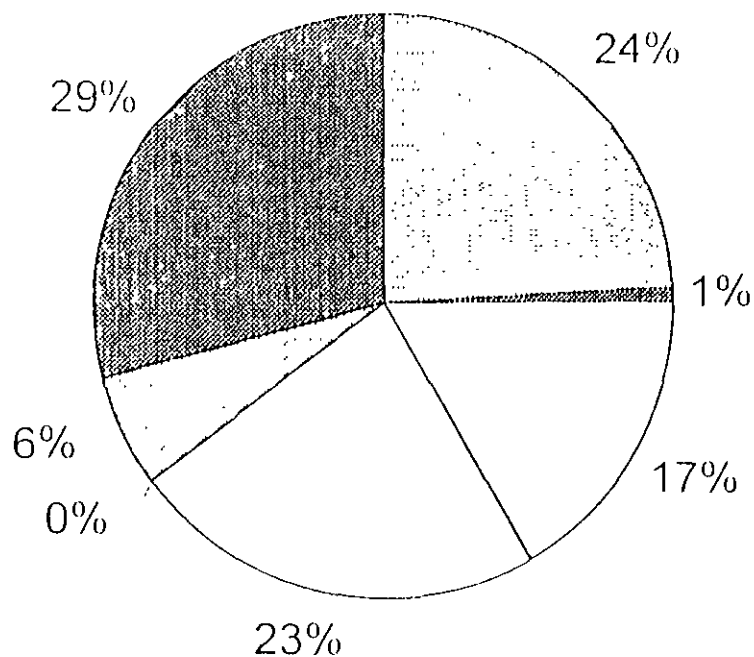
# DISTRIBUCION DE RESERVAS DE PETROLEO POR REGION (1997)



# DISTRIBUCION DE RESERVAS DE GAS POR REGION (1997)



# DISTRIBUCION DE RESERVAS DE CARBON POR REGION (1997)

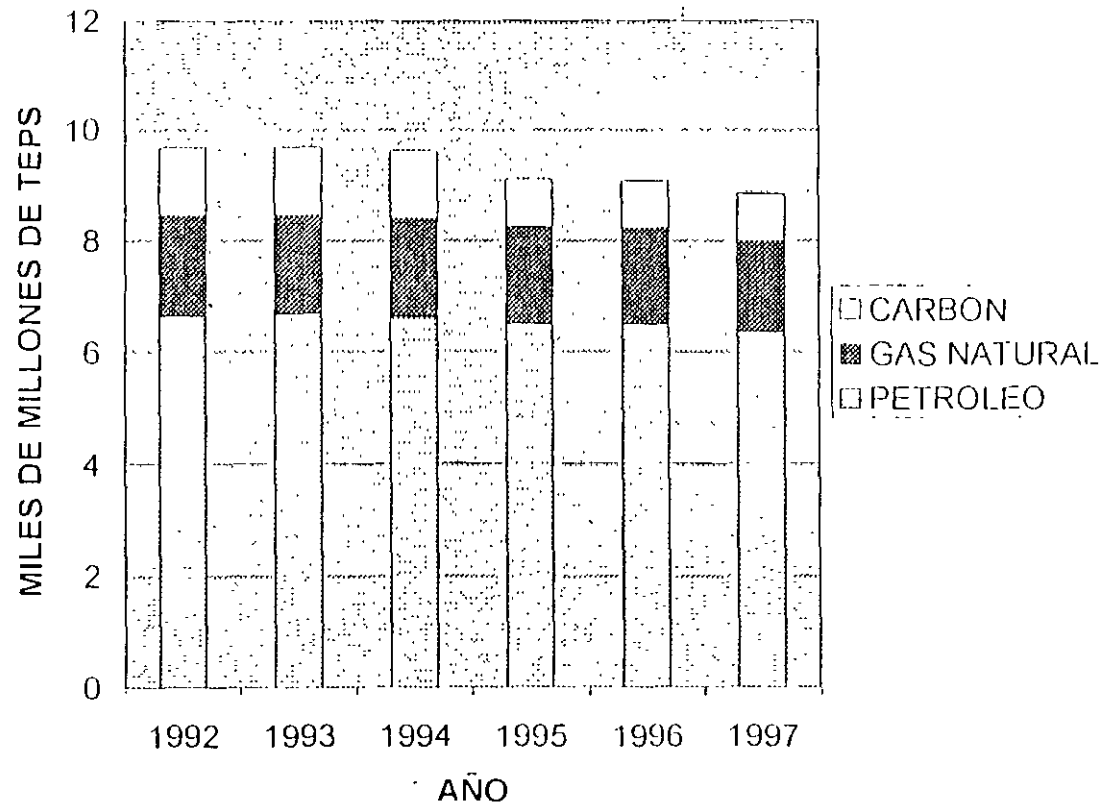


- NORTEAMERICA
- CENTRO Y SUR AMERICA
- EUROPA
- EX URSS
- MEDIO ORIENTE
- AFRICA
- ASIA PACIFICO

# RESERVAS DE COMBUSTIBLES

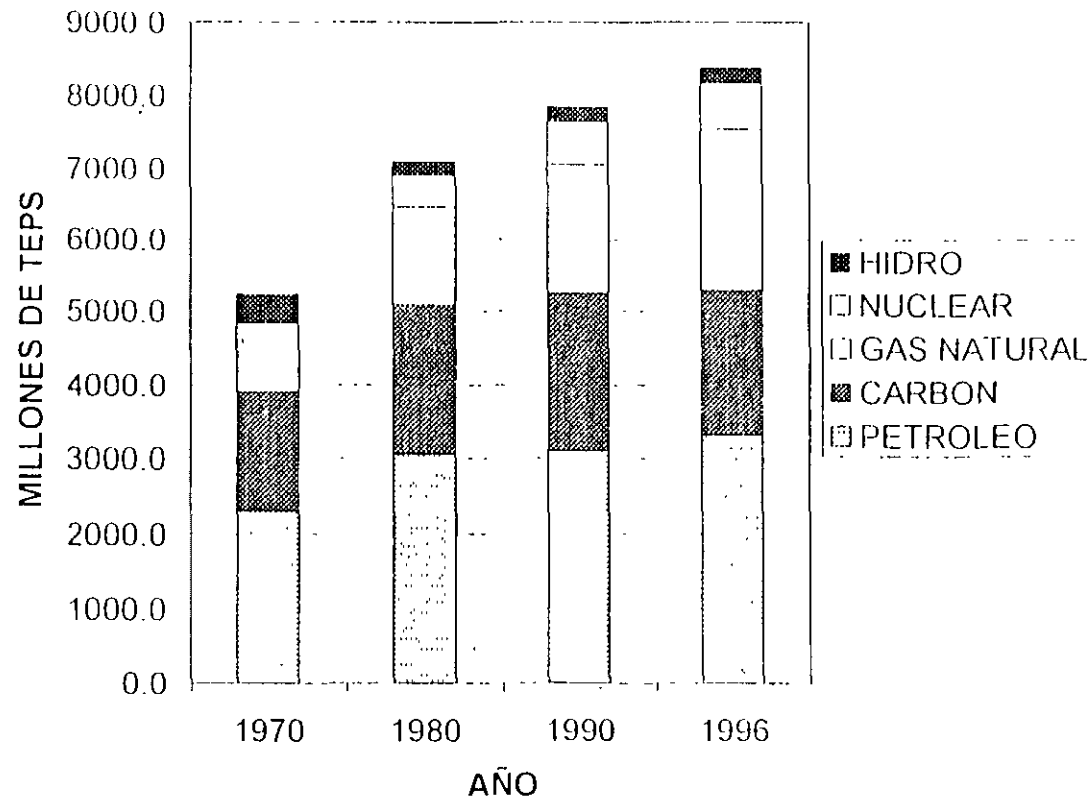
## FOSILES EN MEXICO

Reservas mundiales 1997 = 1000



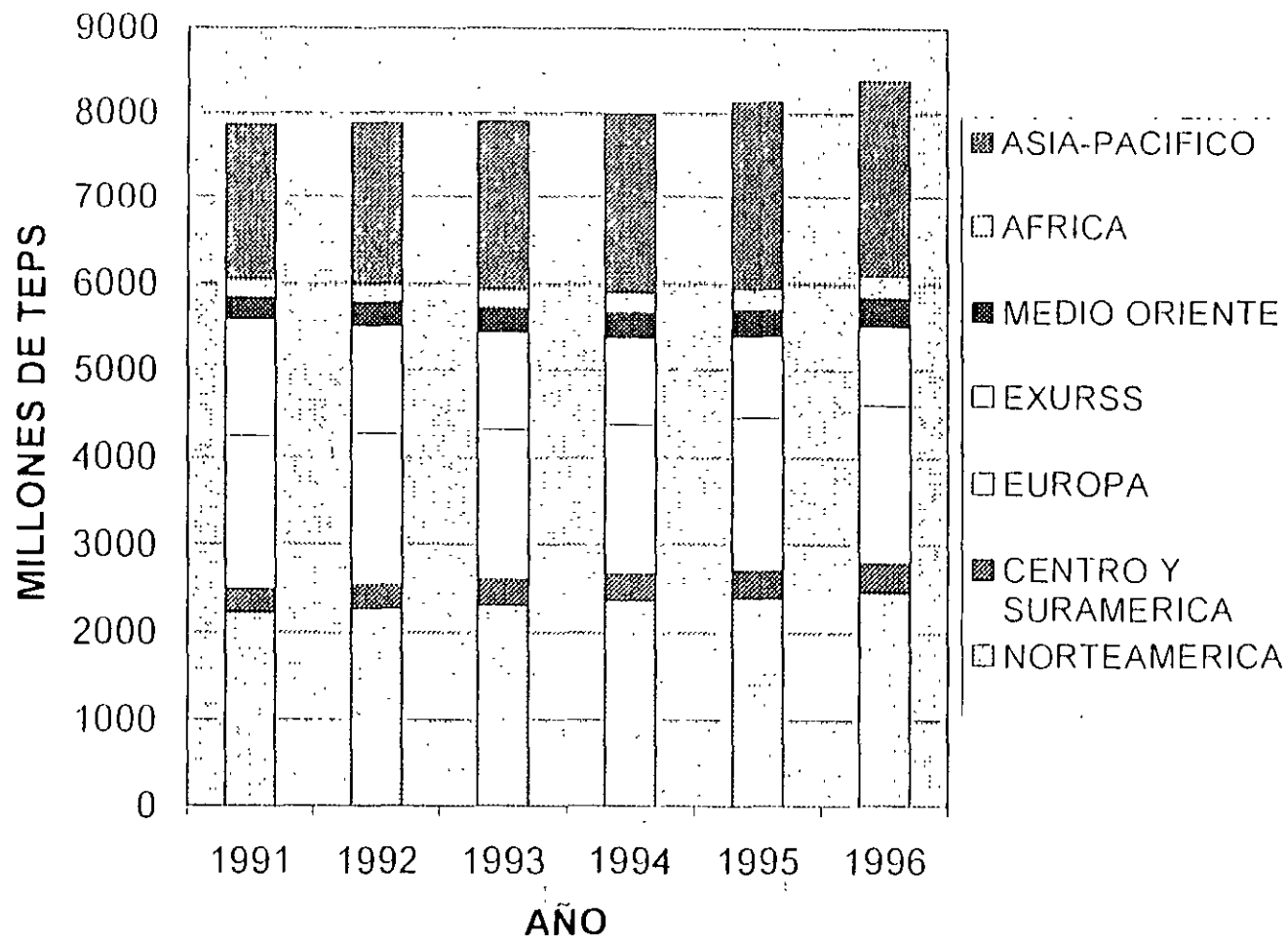
# EVOLUCION DEL CONSUMO MUNDIAL DE ENERGETICOS

RELACION RESERVAS/CONSUMO = 115 AÑOS





# CONSUMO MUNDIAL DE ENERGETICOS POR REGION (1996)

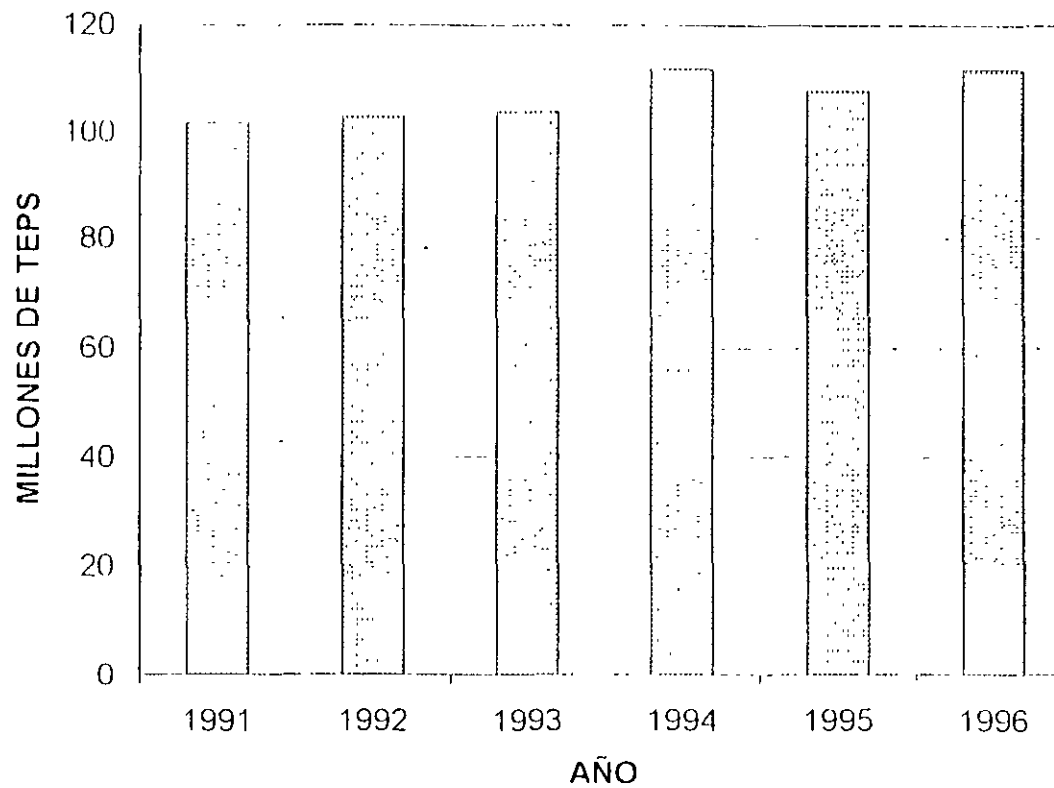


# RELACION RESERVA CONSUMO POR ENRGETICO

- TOTAL ..... 115 AÑOS
- CARBON ..... 320 AÑOS
- PETROLEO ..... 40 AÑOS
- GAS NATURAL ..... 64 AÑOS

# CONSUMO DE ENERGETICOS EN MEXICO

El consumo de México, en 1996  
representó el 1.33% del consumo mundial

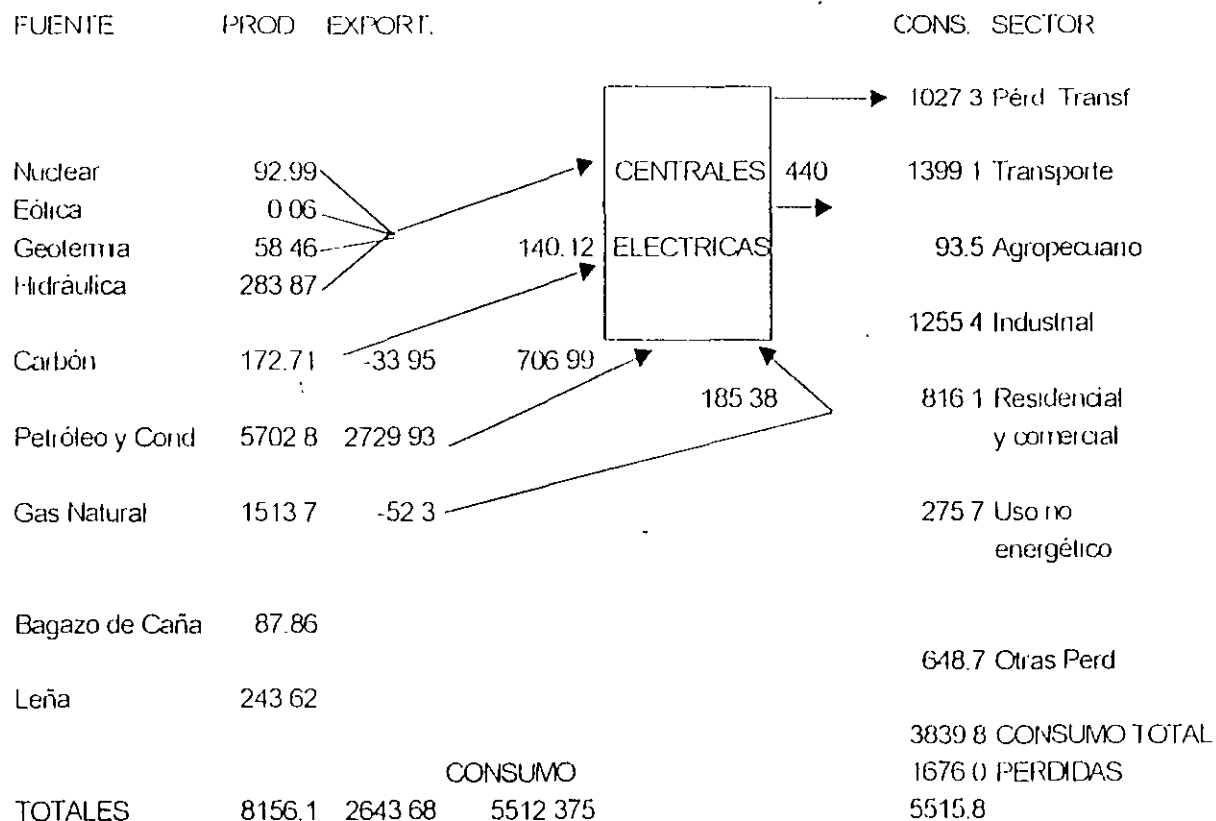


# CONVERSIONES DE UNIDADES

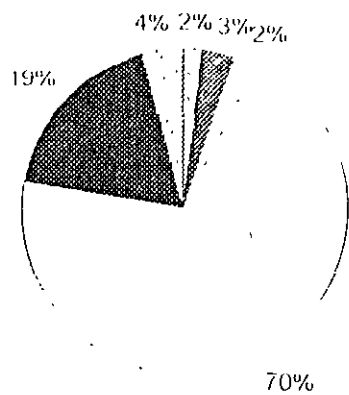
- 1 TEP = 7.663 barriles de petróleo
- 1 TEP = 39,136 pies cúbicos de gas natural
- 1 TEP = 1.43 toneladas de carbón
- 1 TEP = 27,144 MJoules
- 1 Kw-hr = 3.6 MJoules
- 1 barril de petróleo = 5,811 MJoules
- 1 pie cúbico de gas = 1,125 KJoules
- 1 tonelada de carbón = 18,982 Mjoules
- 1 PetaJoule =  $10^9$  MJoules

# DISTRIBUCION DEL USO DE ENERGIA EN MEXICO

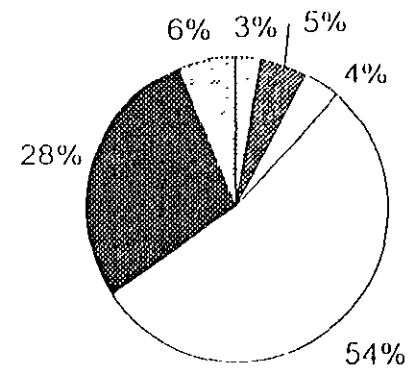
Cifras en Petajoules



# FUENTES DE ENERGIA EN MEXICO (1995)



PRODUCCION

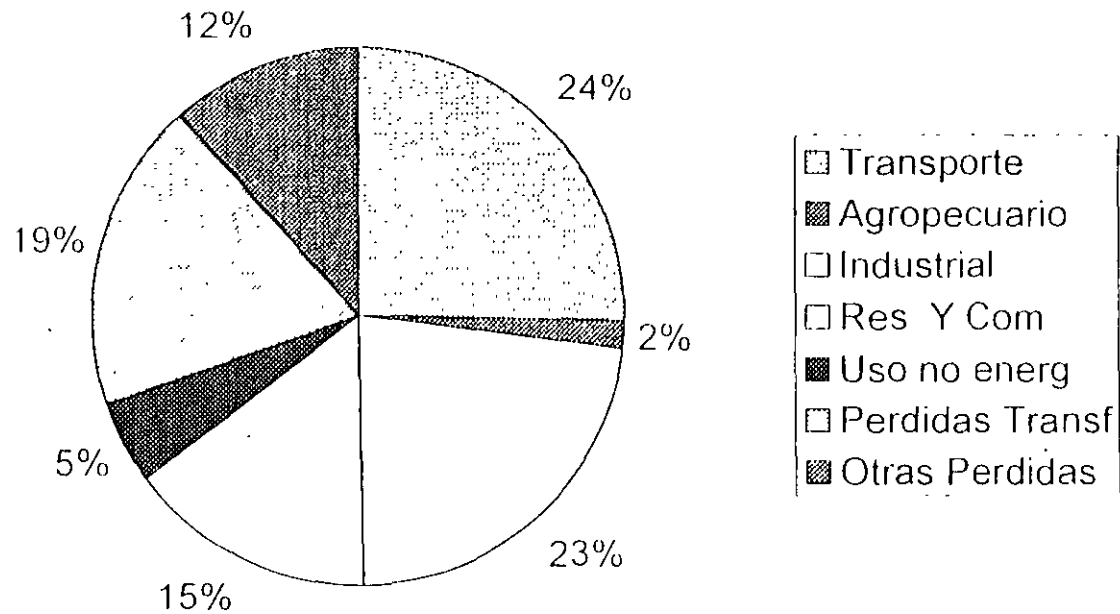


CONSUMO

- Nuc, Eol, Geot
- Hidráulica
- Carbón
- Petróleo
- Gas
- Bagazo y leña

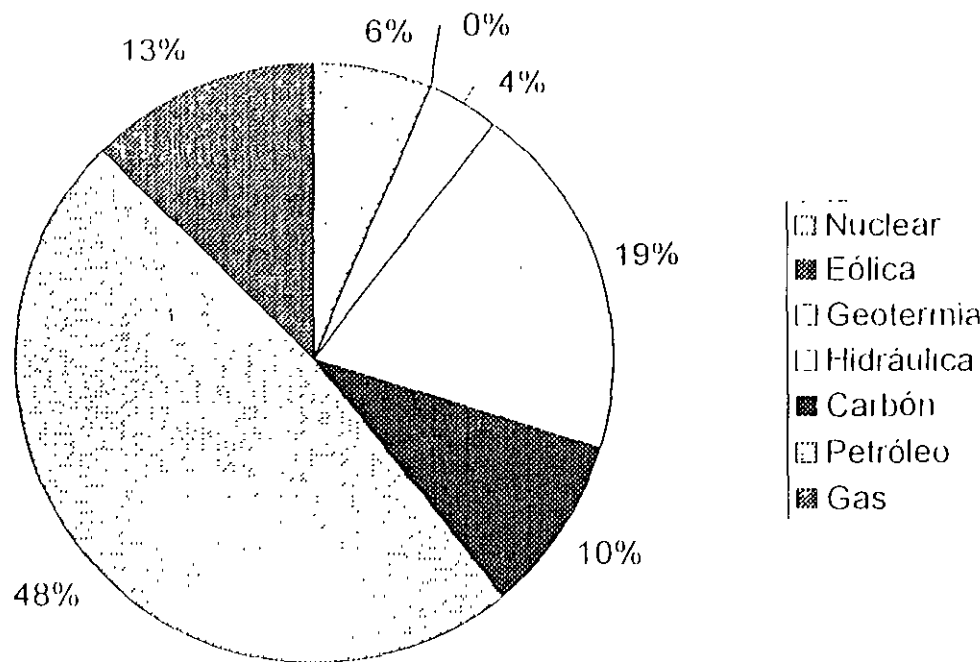
# USOS DE LA ENERGIA POR SECTOR EN MEXICO

Consumo Neto 3,869PJ; Consumo Total 5,487PJ  
Sect. Electrico: Consumo 1,467 Producción 440



# FUENTES DE ENERGIA PARA EL SECTOR ELECTRICO EN MEXICO

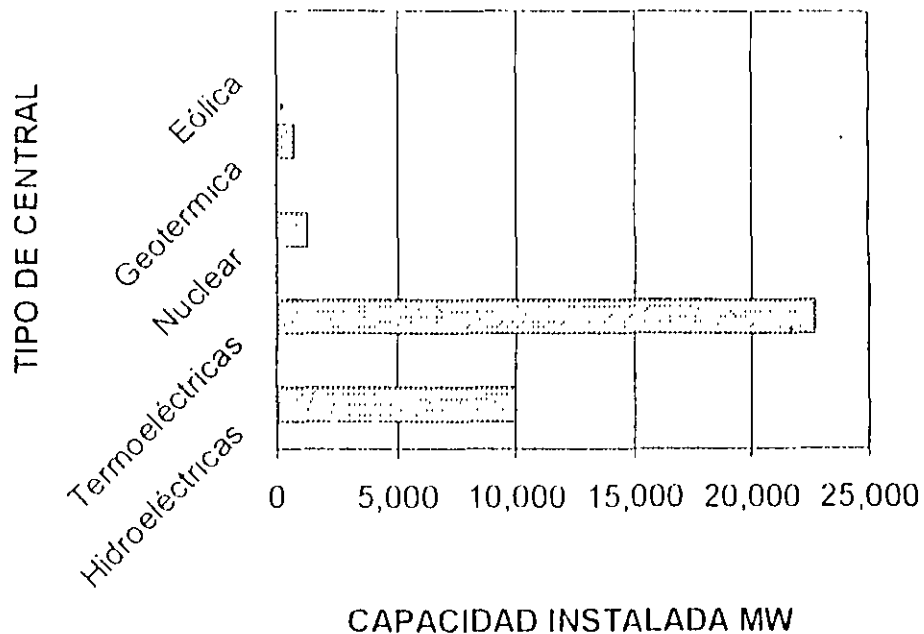
Generación 440PJ Consumo 1467PJ





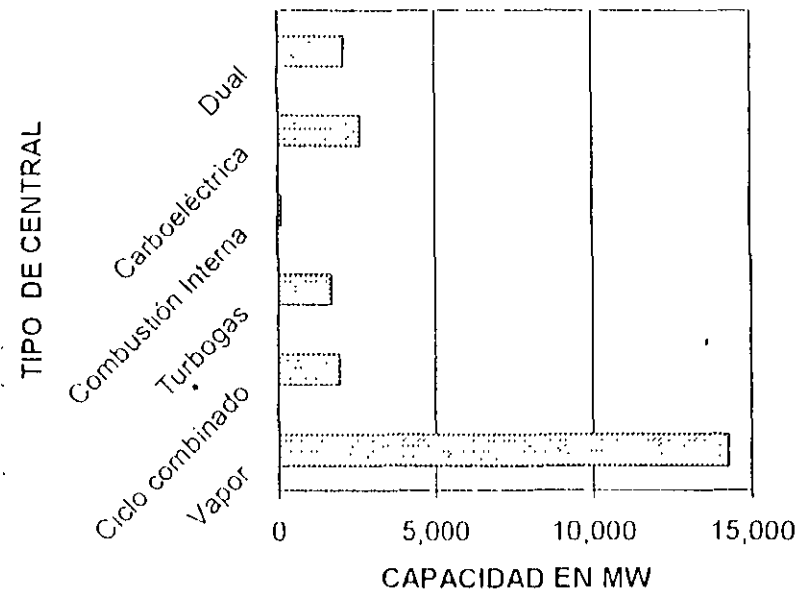
# INTEGRACION DEL SISTEMA ELECTRICO MEXICANO POR TIPO DE CENTRAL (CFE 1997)

Tipo de Central	Capacidad MW
Hidroeléctricas	10,034
Termoeléctricas	22,720
Nuclear	1,309
Geotermica	750
Eólica	2



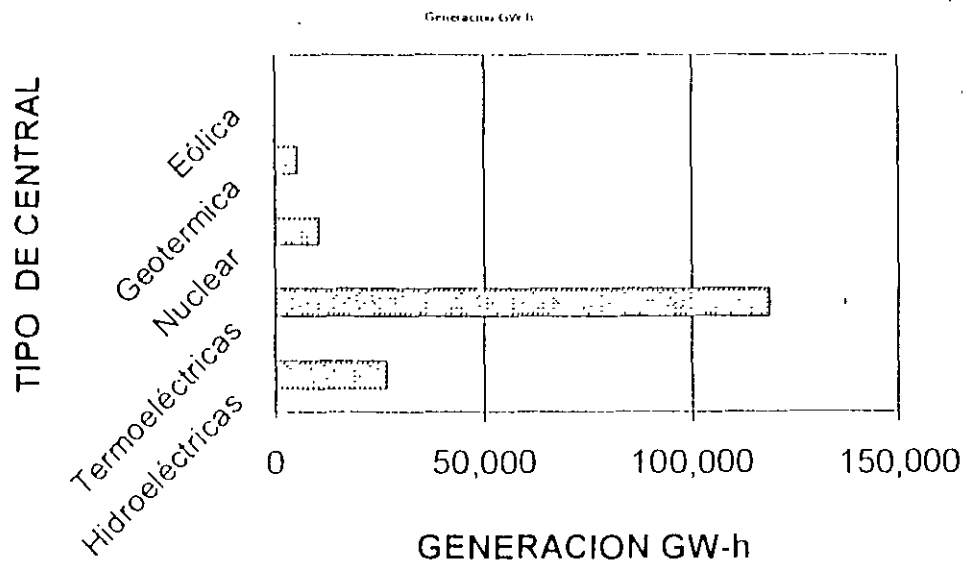
# CAPACIDAD EN CENTRALES TERMOELECTRICAS

Termoeléctricas	22,720
Vapor	14,282
Ciclo combinado	1,942
Turbogas	1,675
Combustión Intern	121
Carboeléctrica	2,600
Dual	2,100



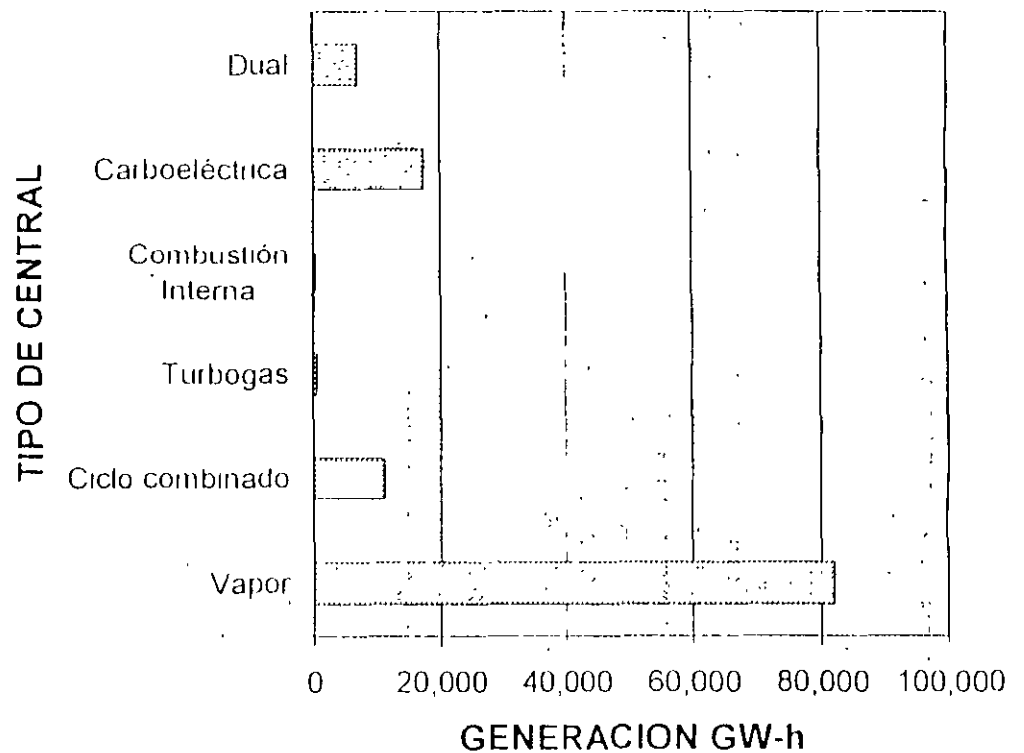
# GENERACION EN MEXICO POR TIPO DE CENTRAL CFE 1997

Tipo de Central	Generacion GW-h
Hidroeléctricas	26,431
Termoeléctricas	119,029
Nuclear	10,456
Geotermica	5,466
Eólica	4



# DISTRIBUCION DE LA GENERACIÓN EN TERMOELECTRICAS

<b>Termoeléctricas</b>	<b>119,029</b>
Vapor	82,103
Ciclo combinado	11,233
Turbogas	657
Combustión Intern	460
Carboeléctrica	17,575
Dual	7,001



# RESUMEN DE FUENTES Y CONSUMOS DE ENERGIA EN EL MUNDO

- Reservas iguales a consumo de 115 años
- Reservas de petróleo y gas para 50 años
- Reservas de carbón amplias (300 años).
- Orimulsión es un nuevo factor en oferta

TENDENCIAS HACIA EL  
APROVECHAMIENTO DE CARBON Y  
ORIMULSION

# RESUMEN DE FUENTES Y CONSUMOS ENERGETICOS EN MEXICO

- Reservas y consumos del orden de 1% del mundo.
- Uso todavía importante de leña (5%)
- Principales reservas en gas y petróleo (90%)
- Gas todavía subutilizado en generación
- Generación Termoeléctrica dominante

# CONVERSION DE ENERGIA

Transformación de la fuente primaria a forma adecuada para uso o transporte.

Química > Eléctrica (Celdas de combustible)

Solar > Eléctrica (Celdas fotovoltaicas)

Potencial > Mecánica >

Eólica > Mecánica > Eléctrica (Hidroeléctricas)

Química > Térmica

Atómica > Térmica

Solar > Térmica > Mecánica > Eléctrica

# CONVERSION QUIMICA - TERMICA

- COMBUSTION
  - Combustibles sólidos
  - Combustibles líquidos
  - Combustibles gaseosos
- GENERACION DE CONTAMINANTES
  - Bióxido de carbono
  - Oxidos de Azufre y de Nitrógeno
  - Partículas sólidas
  - Monóxido de carbono

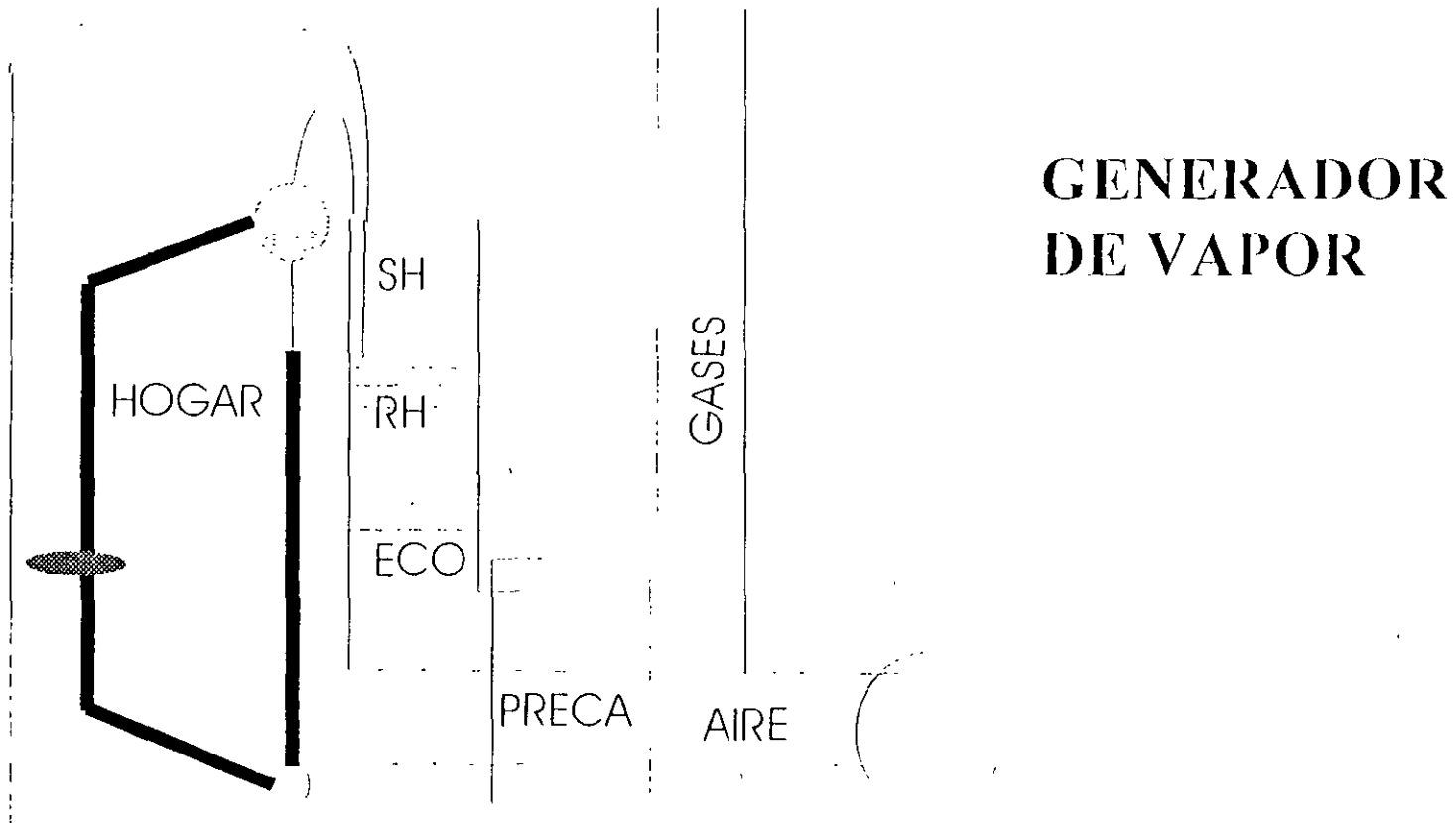


# CONVERSION

## TERMICA - MECANICA

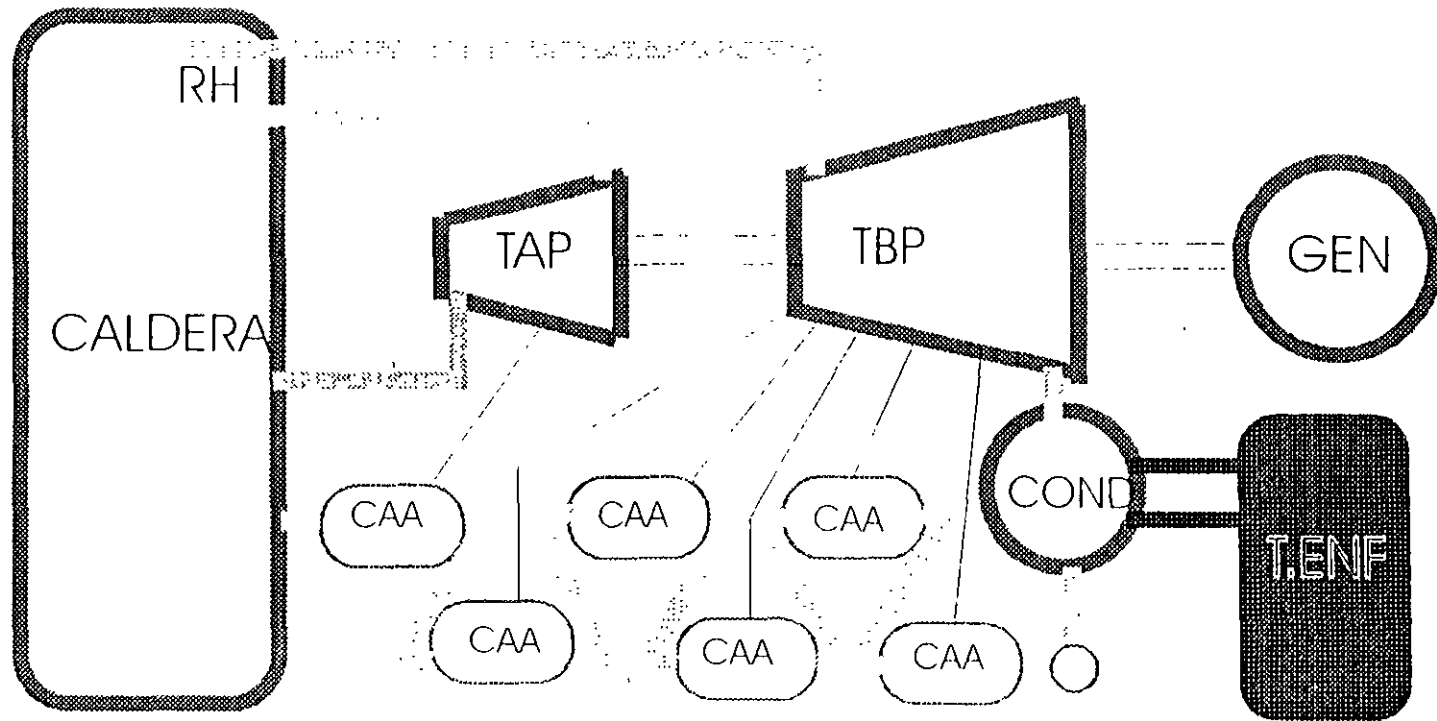
- MAQUINA TERMICA CICLICA (Eficiencia limitada por ciclo de CARNOT)
  - Compresión
  - Calentamiento
  - Expansión
  - Descarga (enfriamiento)
- COMPONENTES (Eficiencia limitada por aspectos tecnológicos)

# MAQUINA TERMICA CENTRAL TERMOELECTRICA

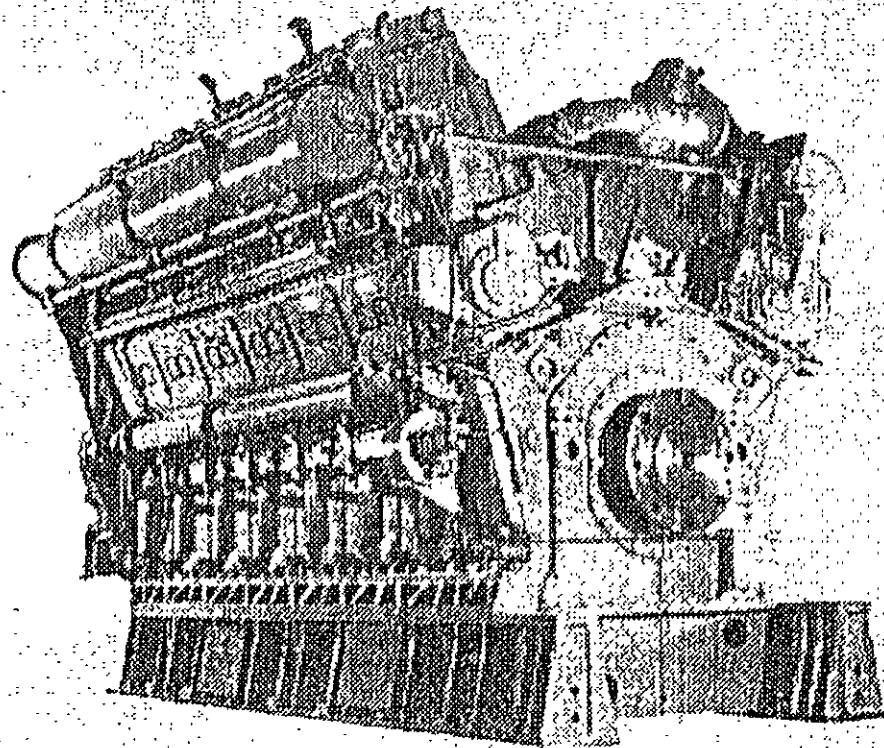


# CENTRAL TERMoeLECTRICA

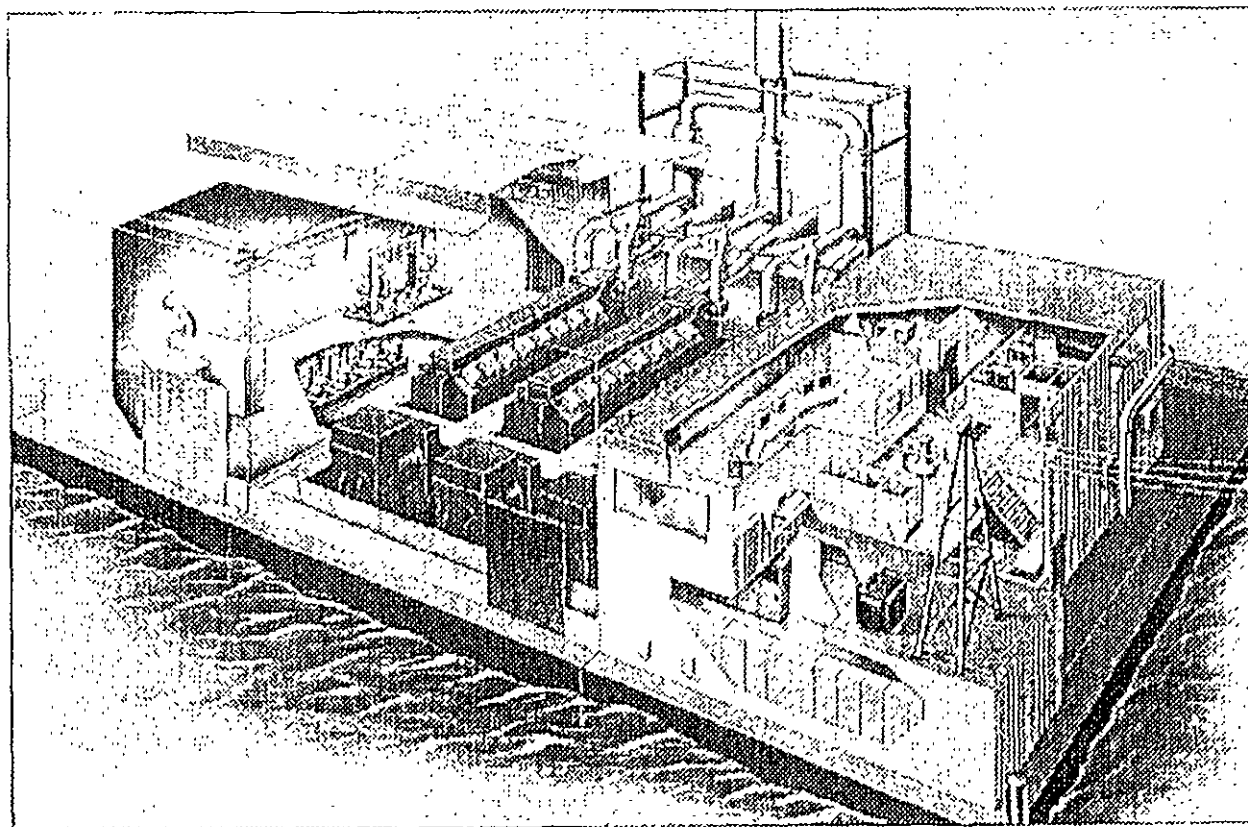
## CICLO



# MAQUINA TERMICA MOTOR DE COMBUSTION



# CENTRAL A BASE DE MAQUINAS DIESEL



A floating station like this can be built in a year from units shipped by MESCO from Rotterdam

# EL CICLO DE CARNOT

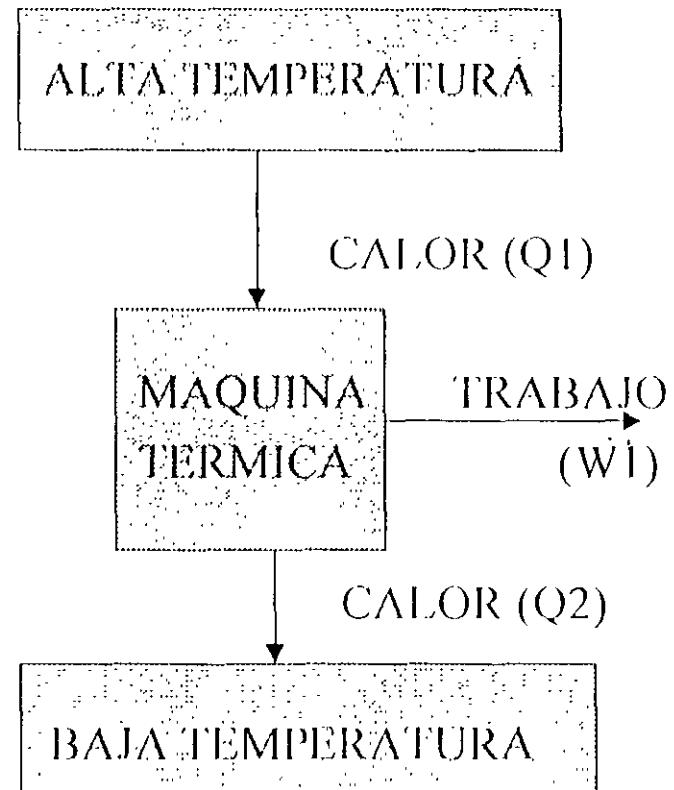
- OPERACIÓN ENTRE DOS FUENTES DE TEMPERATURA

- EFICIENCIA

- $ef = W1 / Q1$
- $ef = (Q1 - Q2) / Q1$
- $ef = 1 - Q2 / Q1$

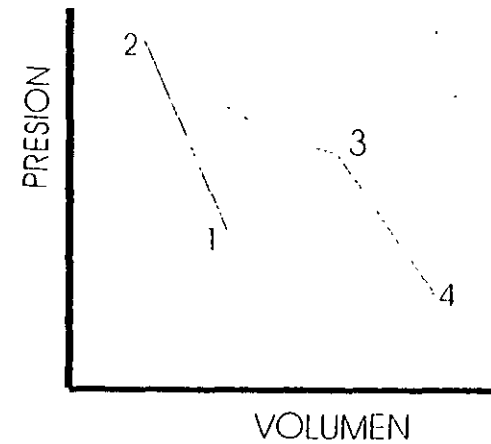
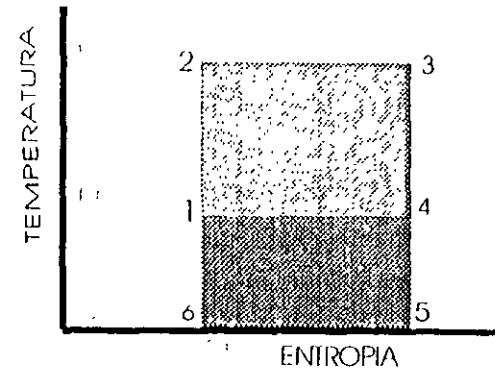
- 2a. LEY

- $ef = 1 - T2 / T1$



# CICLO DE CARNOT

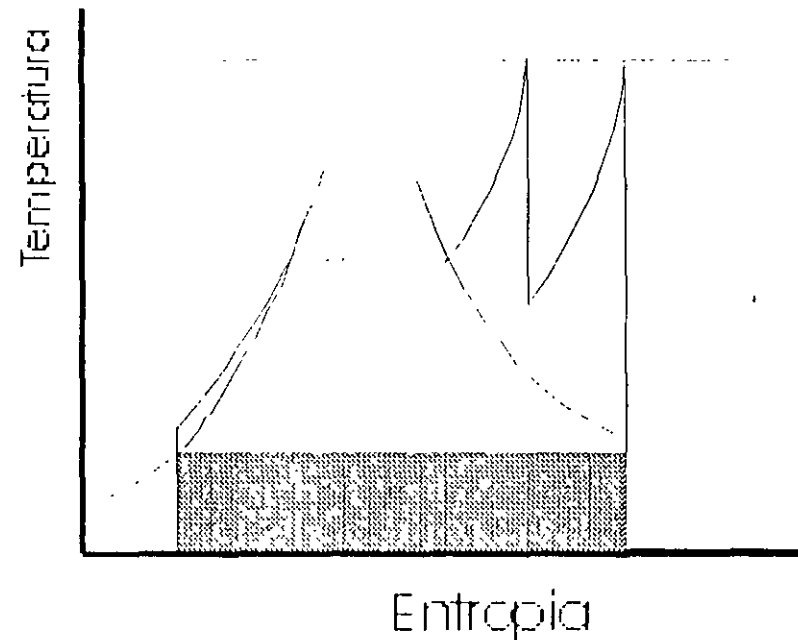
- Area 1-2-3-4 en T-S es trabajo del ciclo
- Eficiencia es  $A_{1-2-3-4}$  dividida entre  $A_{6-2-3-5}$



# CICLO RANKINE

## (Central Convencional a Vapor)

- Limitación tecnológica.  
Temperatura máxima.  
(540C)
- Eficiencias del 30 al 40%
- Puede usar cualquier combustible
- Tres clases:
  - Baja Presión < 60 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Alta Presión
  - Supercriticas >225 Kg/cm<sup>2</sup>



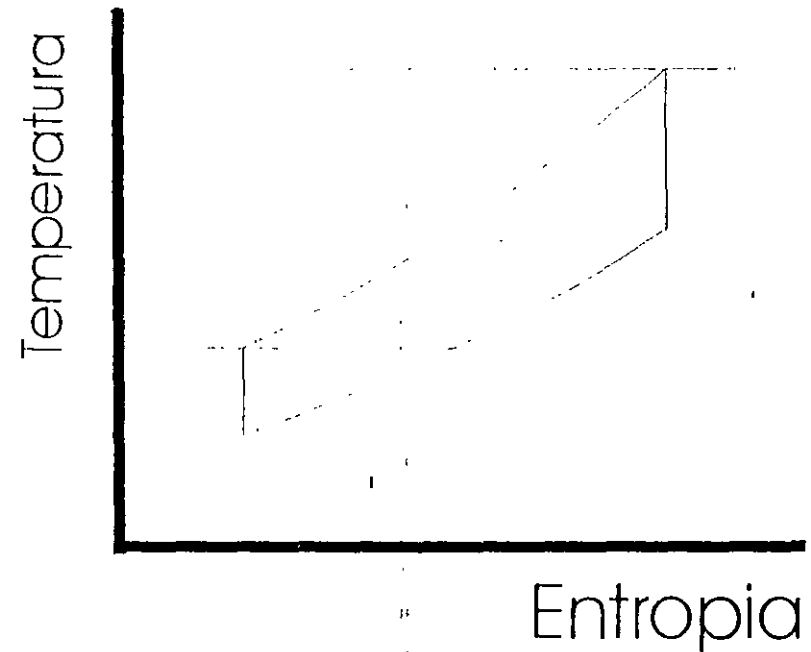


# CICLO DIESEL

- Alta eficiencia
- Tamaños chicos
- Usa cualquier combustible líquido o gaseoso

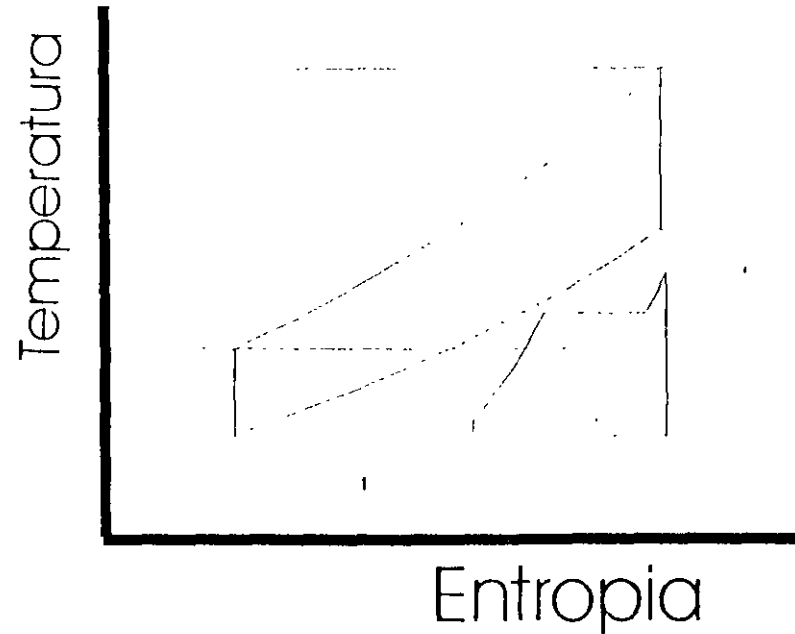
# CICLO BRAYTON (Turbina de gas)

- Limitación tecnológica.  
Temperatura máxima.  
(Actualmente 1300C)
- Eficiencias del 25 al 45%
- Limitación práctica.  
Requiere gas o combustible ligero.

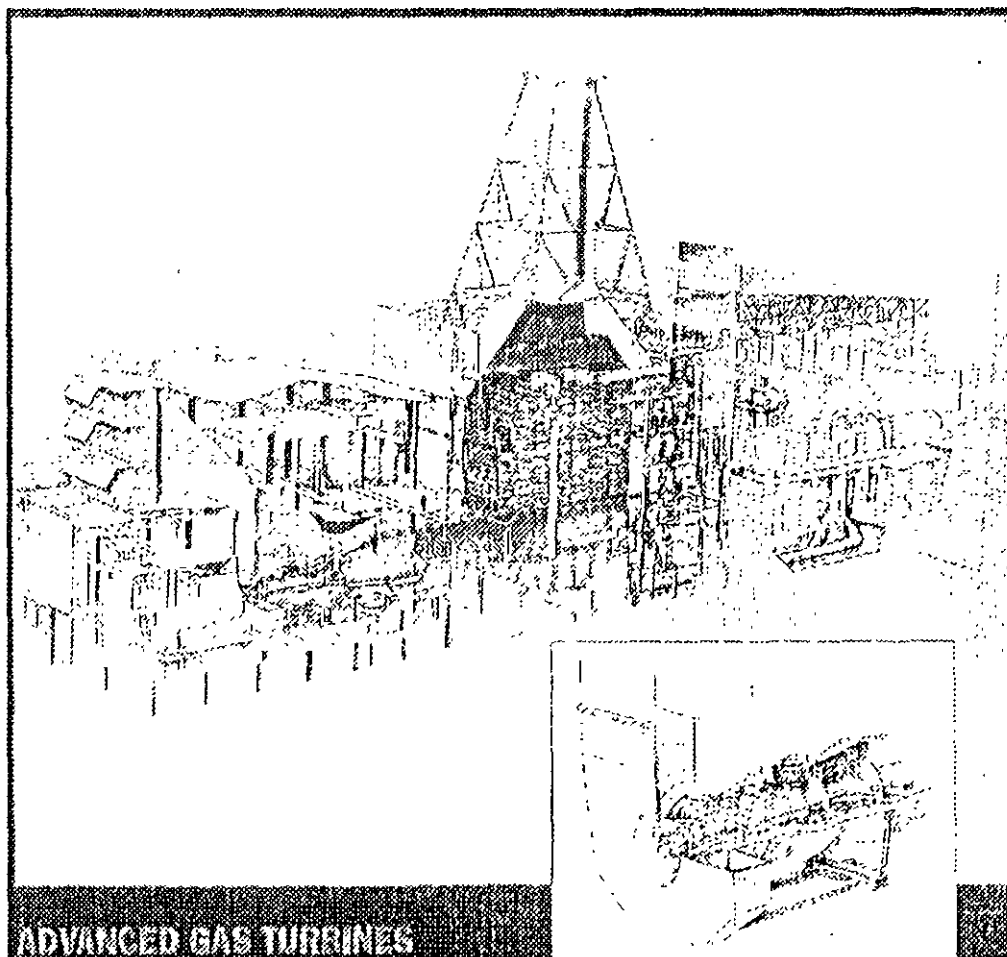


# CICLOS COMBINADOS

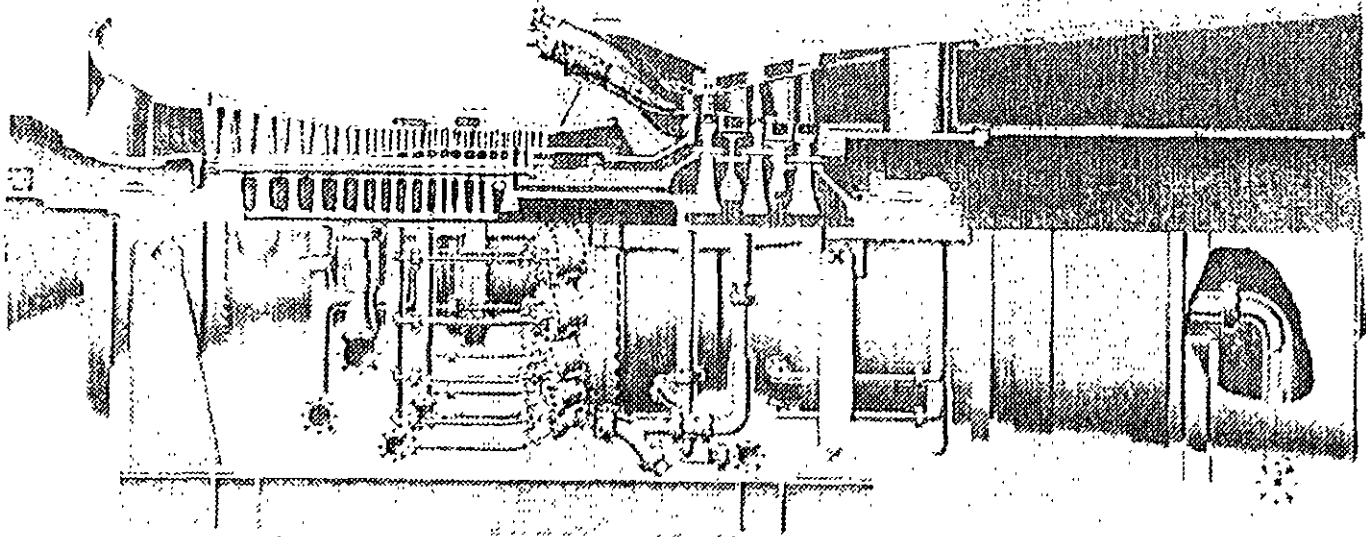
- Utiliza una turbina de gas como elemento principal.
- Acopla un ciclo Rankine para usar el calor de rechazo.
- Limitaciones tecnológicas son las de la turbina de gas



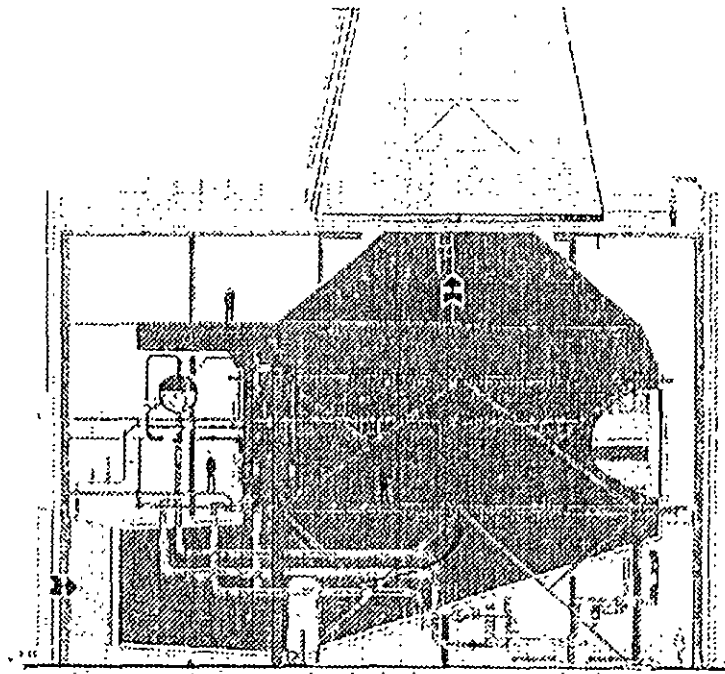
# CICLO COMBINADO



# TURBINA DE GAS DE UN CICLO COMBINADO



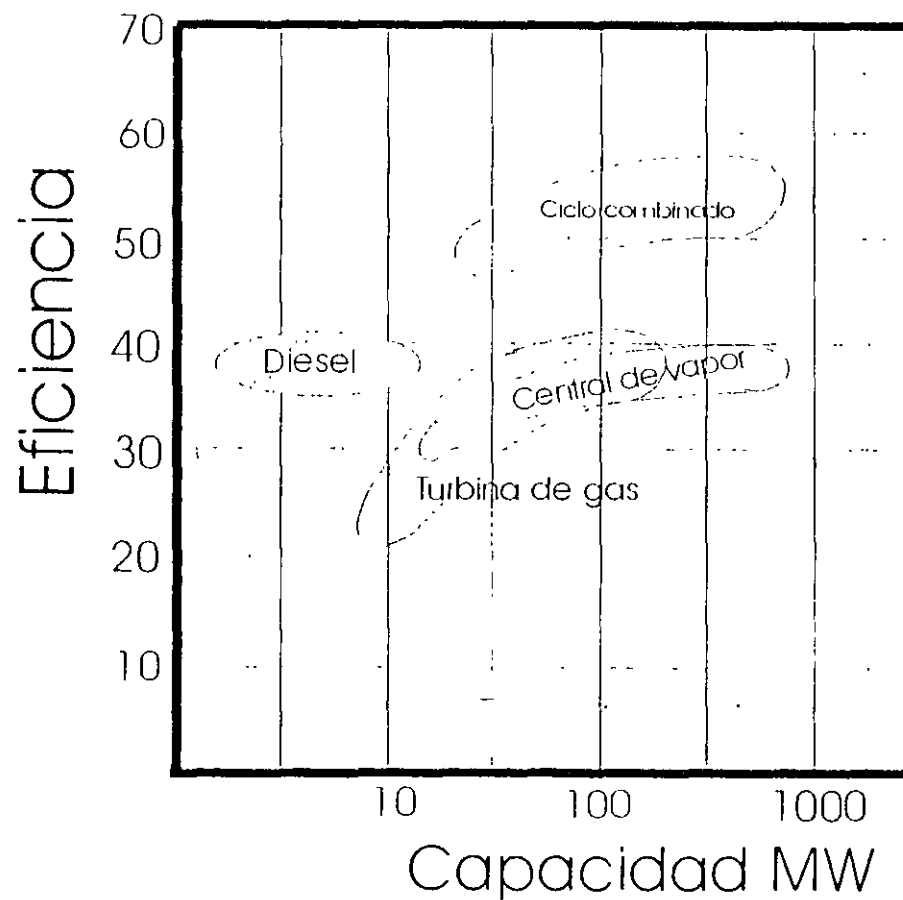
# RECUPERADOR DE CALOR DE UN CICLO COMBINADO



# COGENERACION

- USO DUAL DEL COMBUSTIBLE
  - Generación
  - Vapor / cal.
- MAS COMUNES
  - TG con cald. Recup.
  - CR. Turb. CP
  - Diesel con Recup.

# EFICIENCIAS Y TAMAÑOS DE LAS DISTINTAS MAQUINAS





# **COSTOS DE LAS DISTINTAS MAQUINAS**

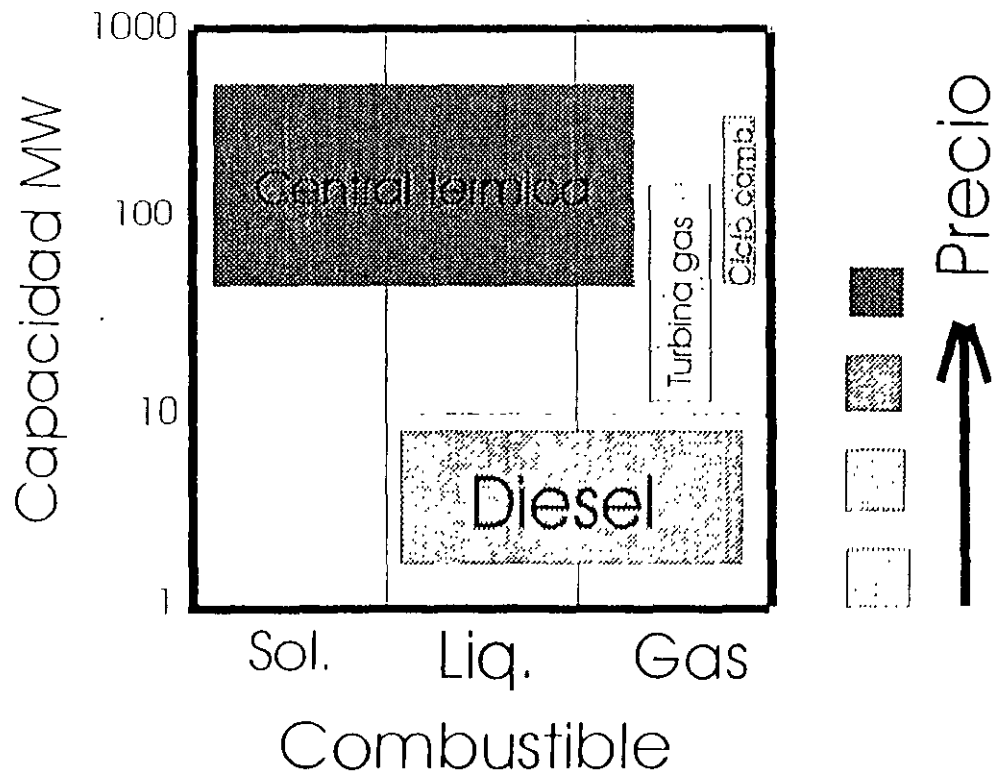
Ciclo combinado .... 500 a 1,000 US /KW

Central a vapor ..... 900 a 1,200

Máquina Diesel .....700 a 900

Turbina de gas ..... 300 a 500

# RANGOS DE APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES



# TENDENCIAS ESPERADAS EN PRECIOS DE ENERGETICOS

PRECIOS (US\$ 1996 POR UNIDAD)	1995	2000	2005	2010	2015	2020
PETRÓLEO (US\$/bl)	17.58	19.11	20.19	20.81	21.48	22.32
GAS A BOCA DE POZO (US\$/miles de pies cúbicos)	1.61	2.11	2.15	2.31	2.38	2.54
CARBÓN A BOCA DE MINA (US\$/ton corta)	19.25	17.45	16.18	15.05	13.99	13.27
ELECTRICIDAD PROM. (cUS\$/kWh)	7.0	6.5	6.1	5.9	5.6	5.5

## CARACTERISTICAS TECNICO ECONOMICAS DE LAS DISTINTAS TECNOLOGIAS

	CC-Gas	VLEG	LFCA	VSC	VUSC	LFCP	IGCC	FC	HAT
Eficiencia (% HHV)	52.0	35.2	35.0	38.7	48	40.2	42.7	54.2	50.2
Costo de inversión (USA/kW)	578	1,248	1,449	1,576		1,936	1,587	1,323	715
Costo niv. de Generación (US\$/MWh)	3.76	4.70	5.01	5.61		6.54	5.26	(4)	4.25
Tiempo de construcción (años)	2-3	3-4	3-4	4-5		4-5	4-5	3	2-3

# AREAS PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGIAS

- Aumentar eficiencia >>70%
  - Mejores materiales
  - Tecnologías de fabricación/enfriamiento
  - Cogeneración
- Aprovechar combustibles sólidos
  - Lechos fluidizados
  - Gasificación
- Reducir impacto ambiental
  - Captura de CO<sub>2</sub>
  - Reducción de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>

# IMPACTOS AMBIENTALES

- Lluvia ácida ..... 1960
- Partículas y NOx ..... 1980
- Gases Efecto Invernadero..... 1996

# TECNOLOGIAS PARA AUMENTAR EFICIENCIA Y USAR COMBUSTIBLES SOLIDOS

- Lechos fluidizados atmosféricos
- Posibilitar utilización de ciclos combinados.
  - Gasificación de combustibles
  - Lechos fluidizados presurizados
- Aumentar la eficiencia de ciclos de turbina de gas
- Centrales Carboeléctricas de alta eficiencia
- Generación distribuida y cogeneración

## TECNOLOGIAS PARA REDUCIR LOS IMPACTOS AMBIENTALES

- Uso de combustibles limpios (mientras se pueda)
- Mejoramiento de sistemas de combustión
- Combustión en lecho fluidizado
- Combustión con baja producción de NOx
- Captura de CO<sub>2</sub> en chimenea
- Disposición de CO<sub>2</sub>



## USO DE COMBUSTIBLES LIMPIOS

- CAMBIO A GAS DE CENTRALES A CARBON O A COMBUSTOLEO
- *Evidentemente la aplicación es limitada*

# MEJORAMIENTO DE SISTEMAS DE COMBUSTION

- Mejores atomizadores
  - Mejora uso de combustóleo
- Inyección controlada de aire
  - Reduce NOx
- Uso de emulsiones Agua en aceite
  - Mejora combustión
- Uso de emulsiones Aceite en Agua
  - Permite uso de residuos pesados

## MEJORAS A COMBUSTION

- Con buenos atomizadores o con el uso de emulsiones los resultados obtenidos son:
  - Partículas bajan de 400 mg/m<sup>3</sup> a 150
- El costo que se paga es en consumo de vapor

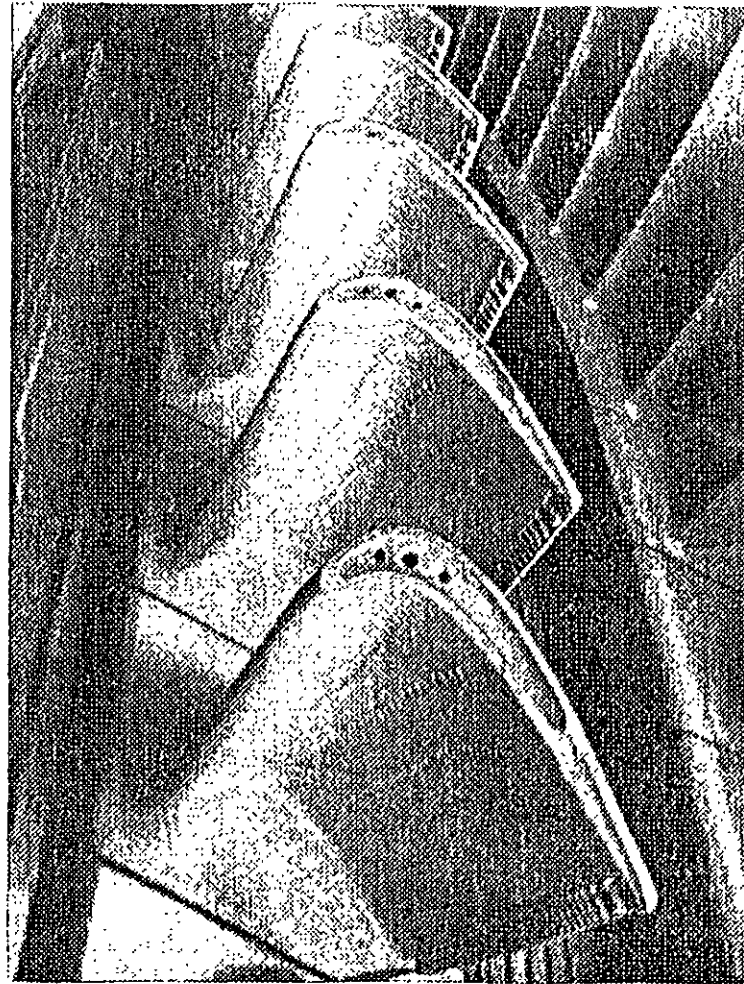
# MEJORAS A CICLOS DE TURBINAS DE GAS

- Mejoramiento de sistemas de enfriamiento de álabes
- Turbinas con combustión secuencial
- Turbinas con recuperación de calor
- Ciclo CHENG

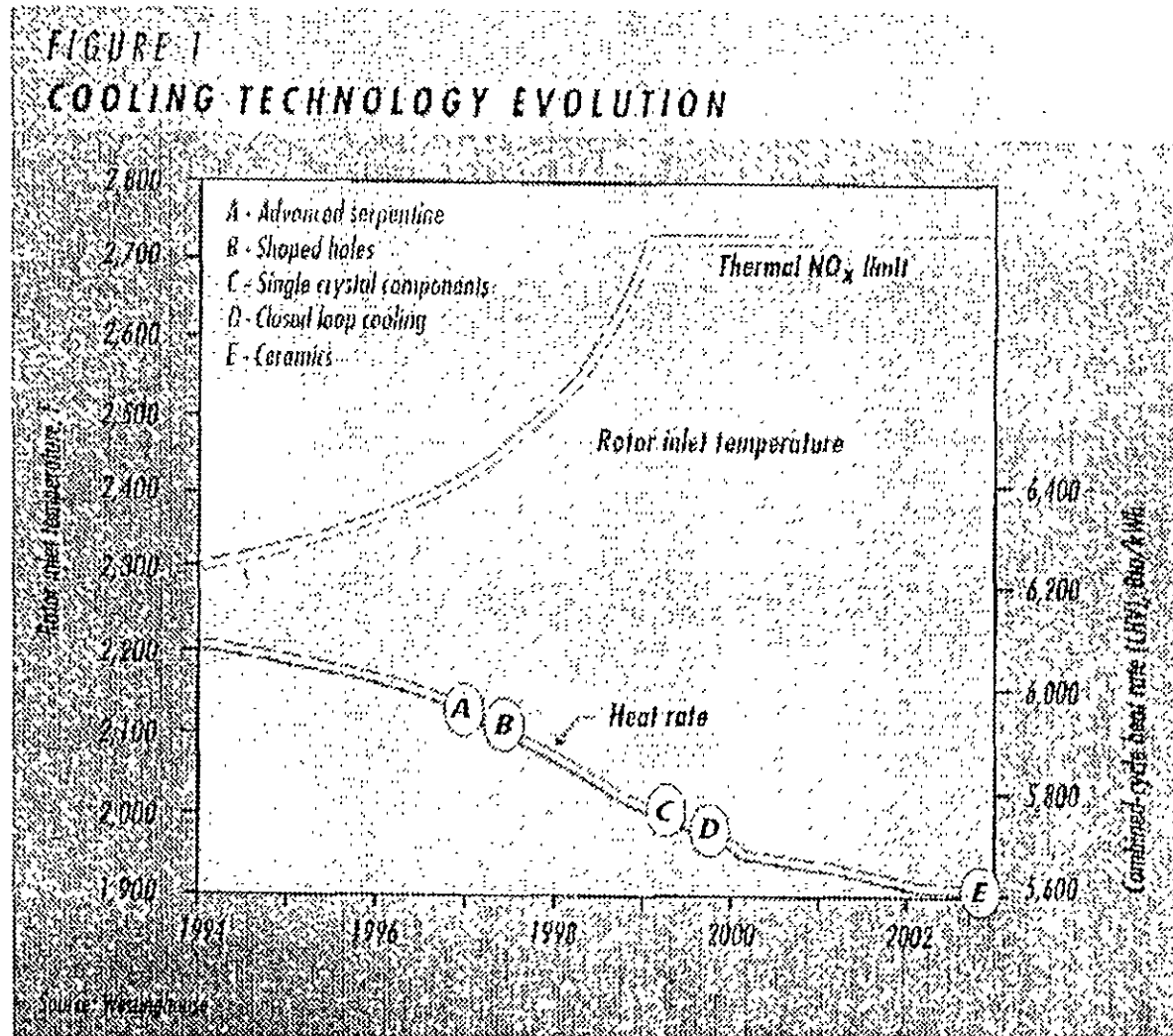
## MEJORAMIENTO DE MATERIALES Y SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE ALABES

- Permite temperaturas de operación más altas
  - Mejor eficiencia

# ENFRIAMIENTO DE ALABES DE TURBINA

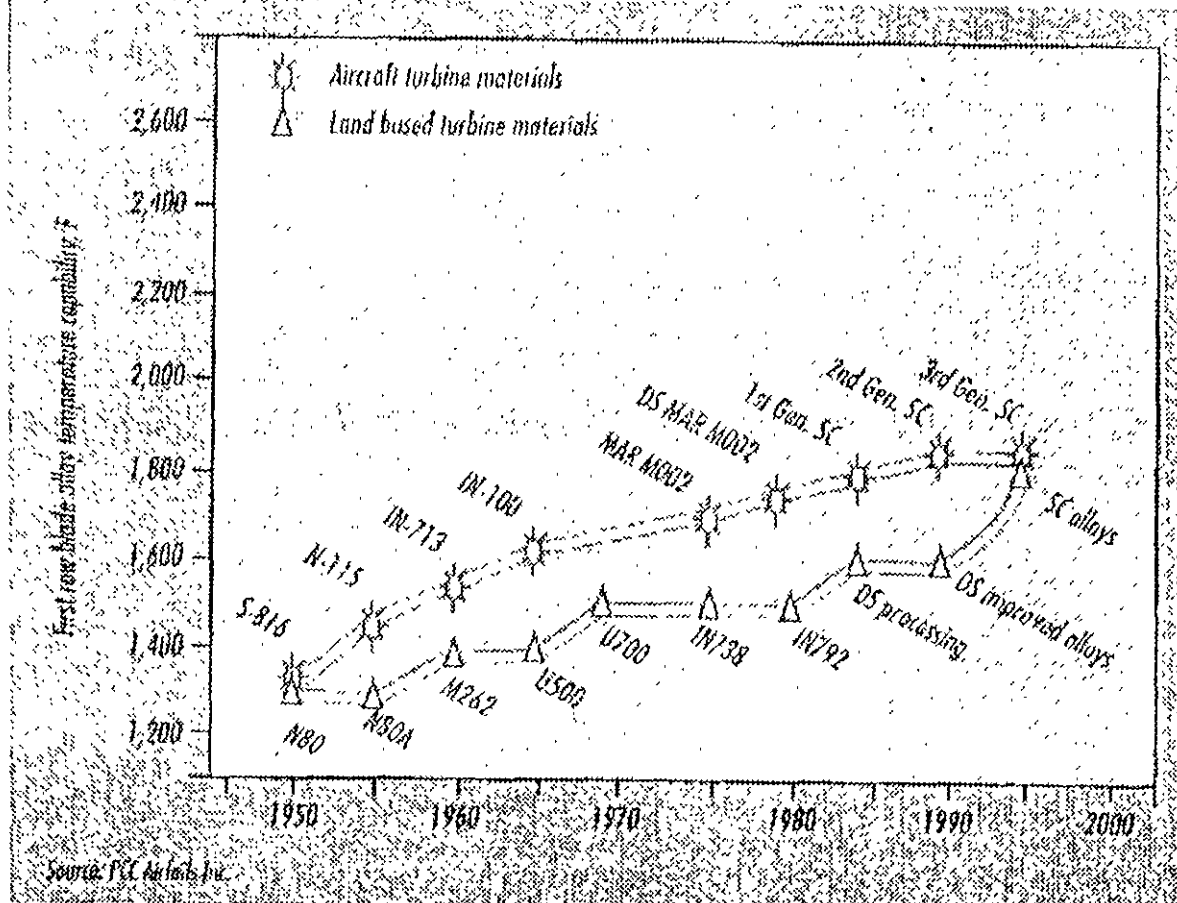


# EFFECTOS DEL DESARROLLO DE MATERIALES PARA ALABES



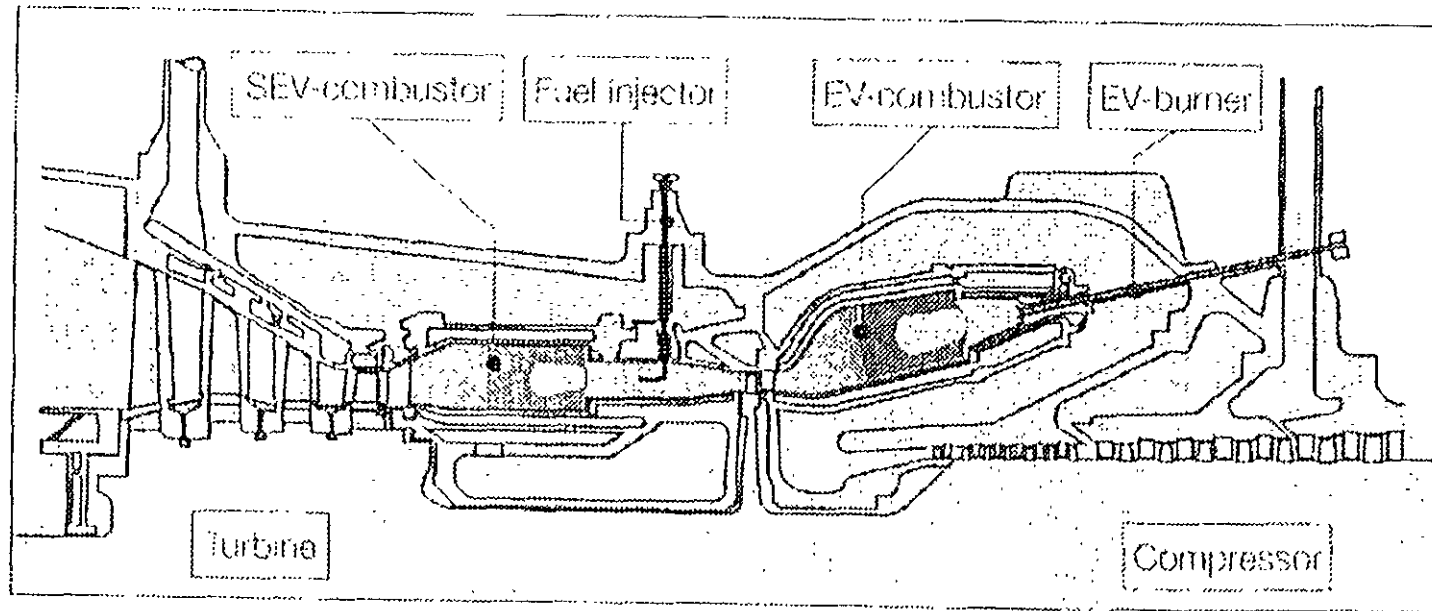
# DESARROLLO DE NUEVOS MATERIALES PARA ALABES

FIGURE 2  
TURBINE MATERIALS DEVELOPMENT HISTORY

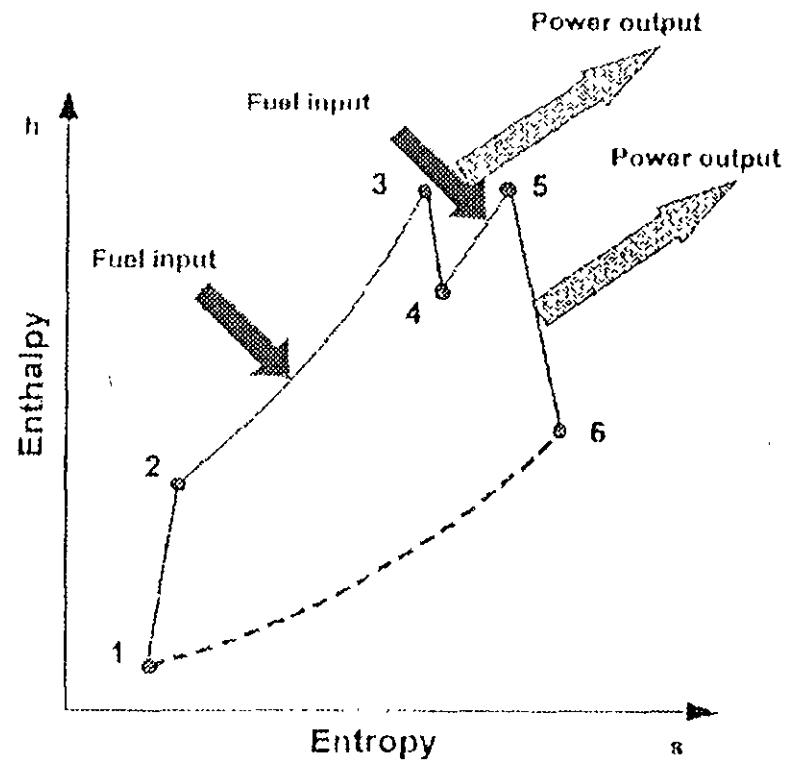




# TURBINA DE GAS CON COMBUSTION SECUENCIAL

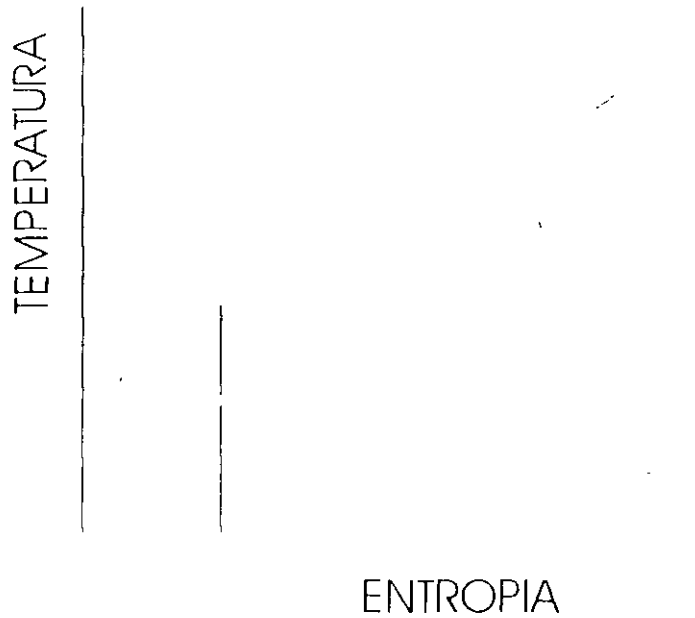


# TURBINA DE GAS CON COMBUSTION SECUENCIAL

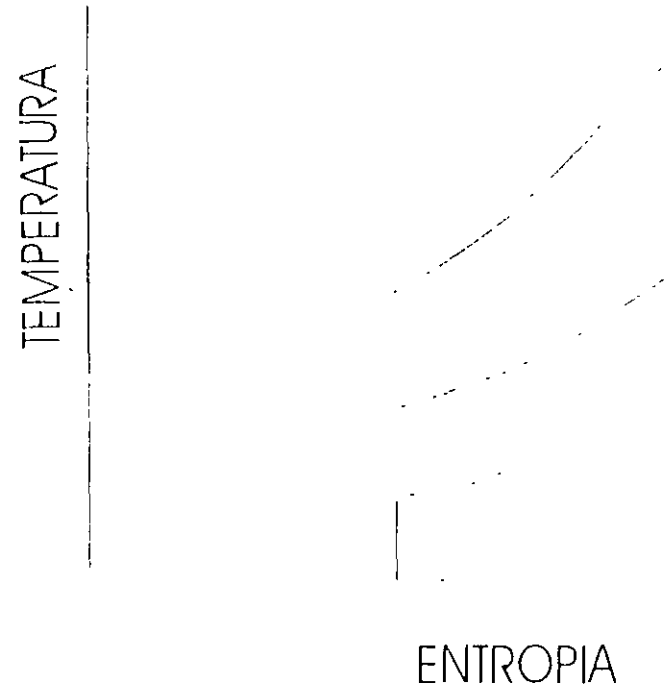


# TURBINAS DE GAS CON RECUPERACION DE CALOR

CICLO NORMAL



CICLO CON RECUPERACION



# CICLO CHEN

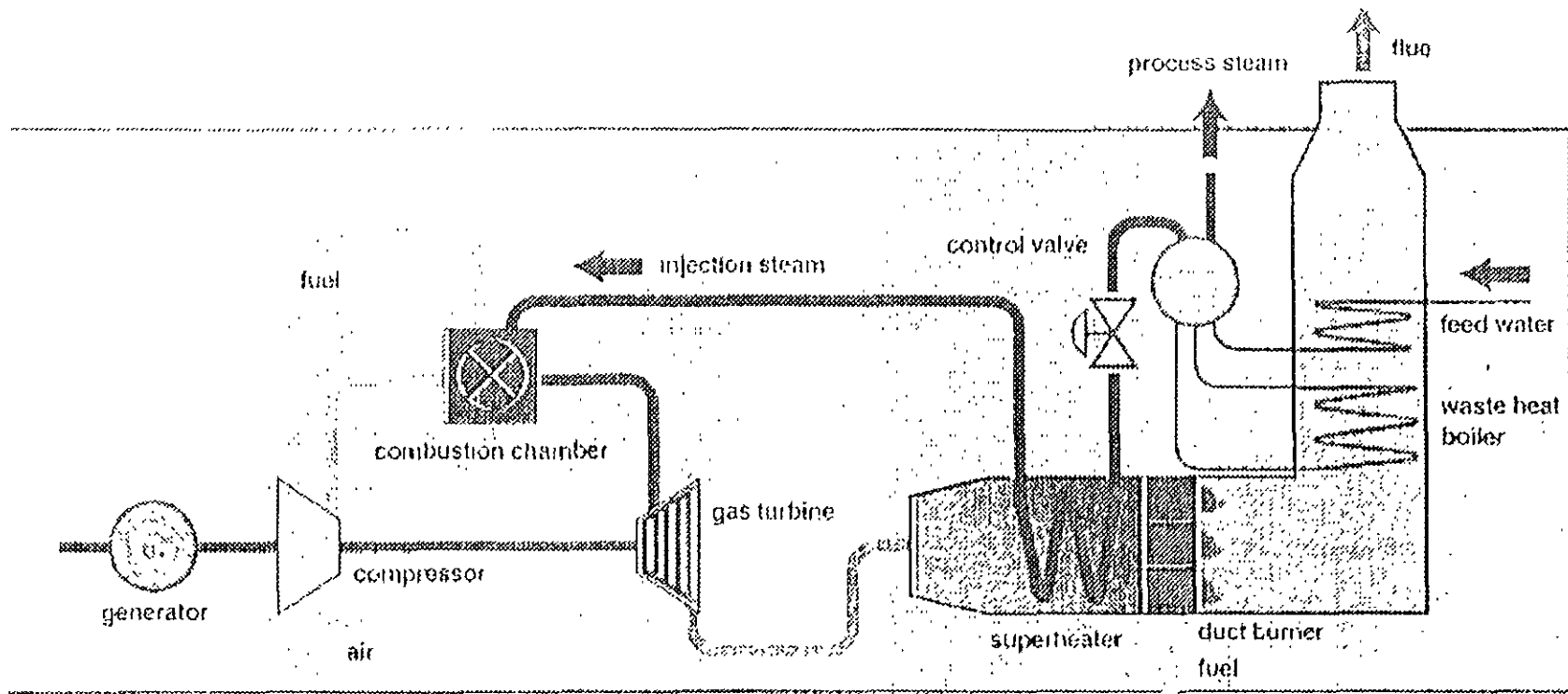


Figure 2. Process diagram for the Cheng cycle

## CICLO CHEN

- Inyecta agua o vapor a los gases de combustión
- Incrementa la potencia generada por la turbina.
- Da flexibilidad de operación a ciclos de cogeneración.
- Usa agua.

## LECHOS FLUIDIZADOS ATMOSFÉRICOS

- Permiten utilizar combustibles con alto tiempo de quemado.
  - Coque de petróleo
  - Bagazo
- Permiten mezclar Caliza o Cal con el combustible.
  - Retienen SO<sub>2</sub>

## LECHOS FLUIDIZADOS ATMOSFERICOS

- Burbujeante
  - El lecho se mantiene suspendido
- Circulante
  - El lecho circula con los gases

## LECHO FLUIDIZADO ATMOSFERICO CIRCULANTE

- Eficiencia 35%
- Inversión 1,450 USD/KW
- Costo Generación 5.01 USD/MWh
- Uso de absorbente 149 Kg/MWh
- Sólidos generados 226 Kg/MWh
- Tiempo de const. 3.5 años

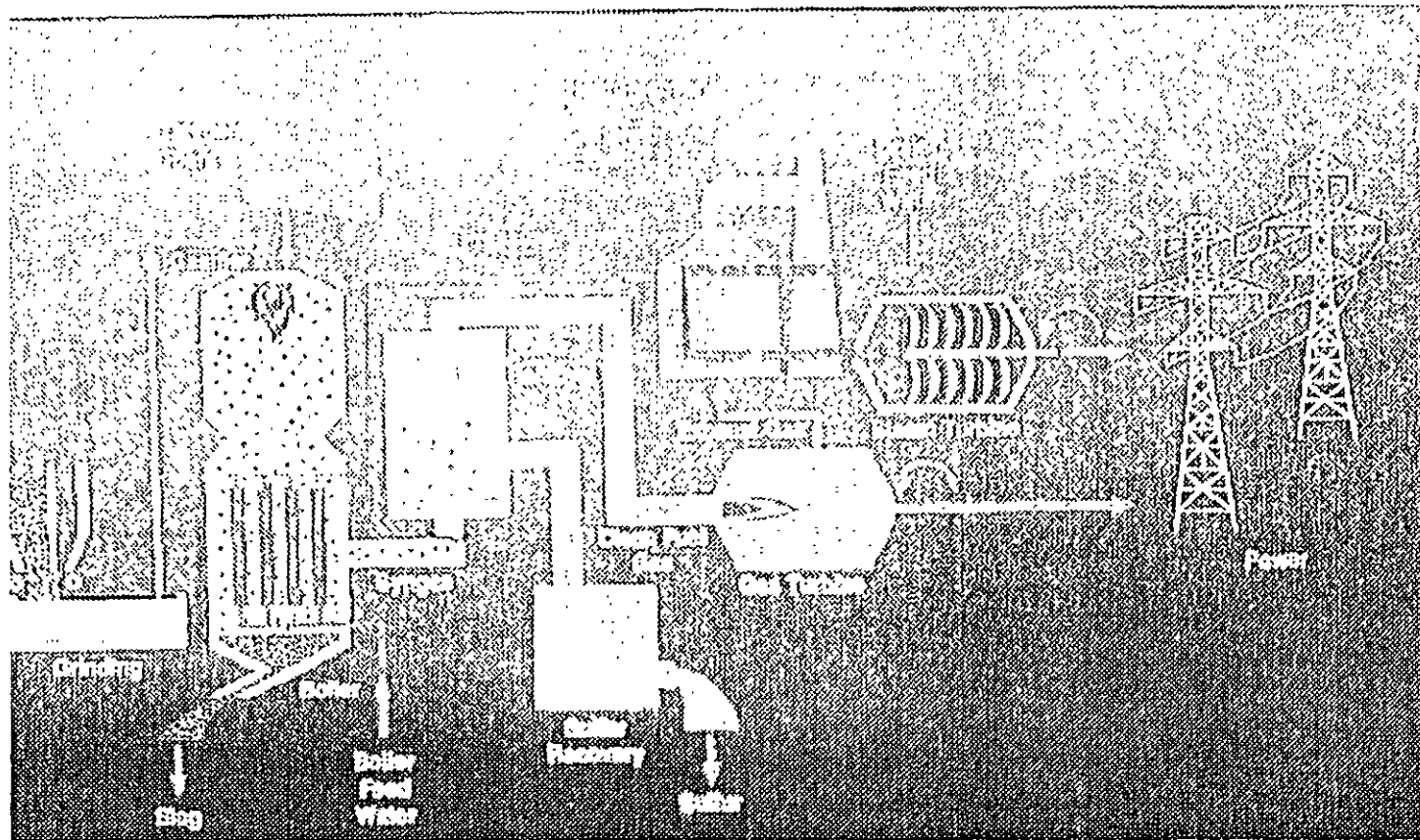


## GASIFICACIÓN INTEGRADA A CICLOS COMBINADOS

- Eficiencia 43 %
- Inversión 1,590 USD/KW
- Costo Generación 5.26 USD/MWh
- Uso de absorbente 0 Kg/MWh
- Sólidos generados 63 Kg/MWh
- Tiempo de const. 4.5 años

# DIAGRAMA DE GASIFICACION INTEGRADA A CC

Diseño TEXACO



# LECHO CIRCULANTE PRESURIZADO

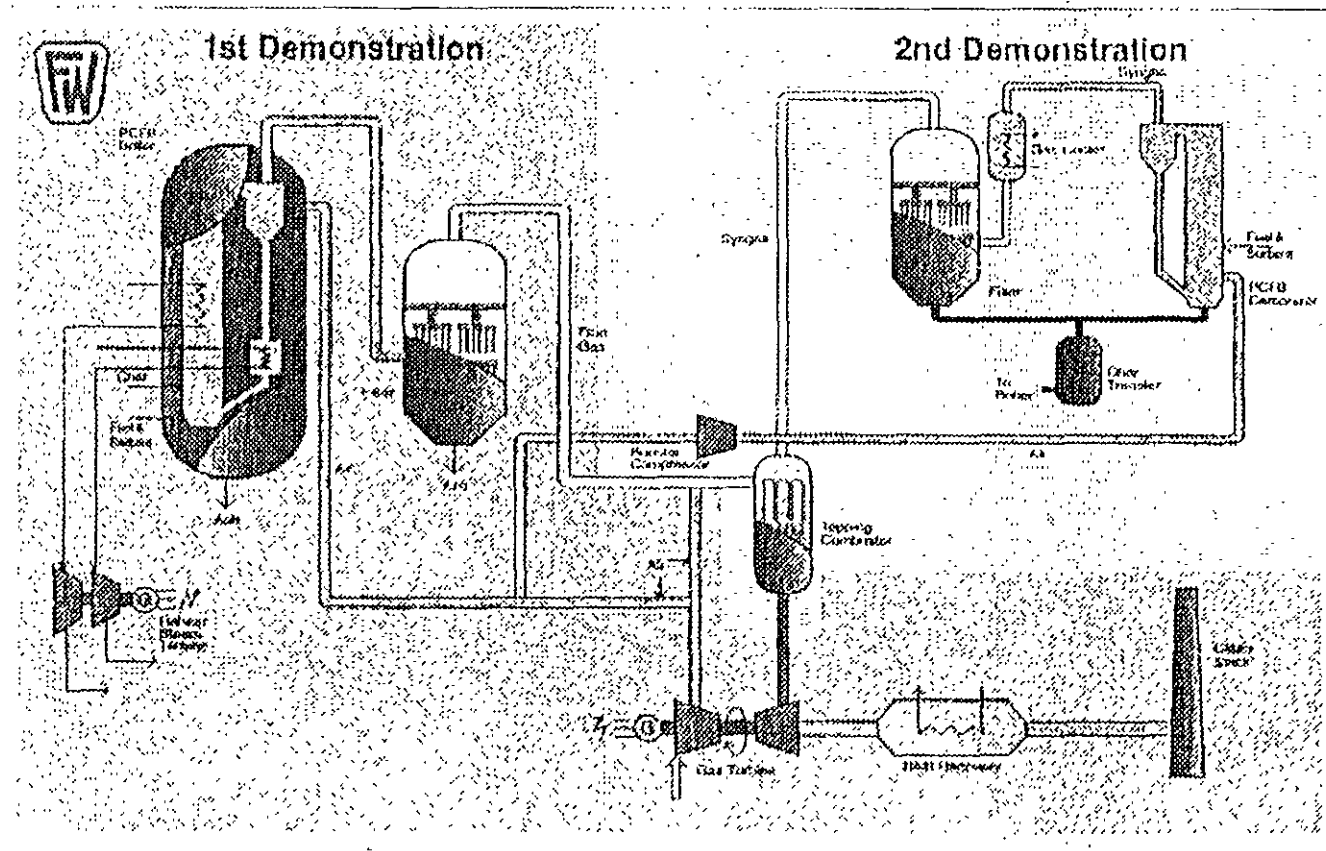


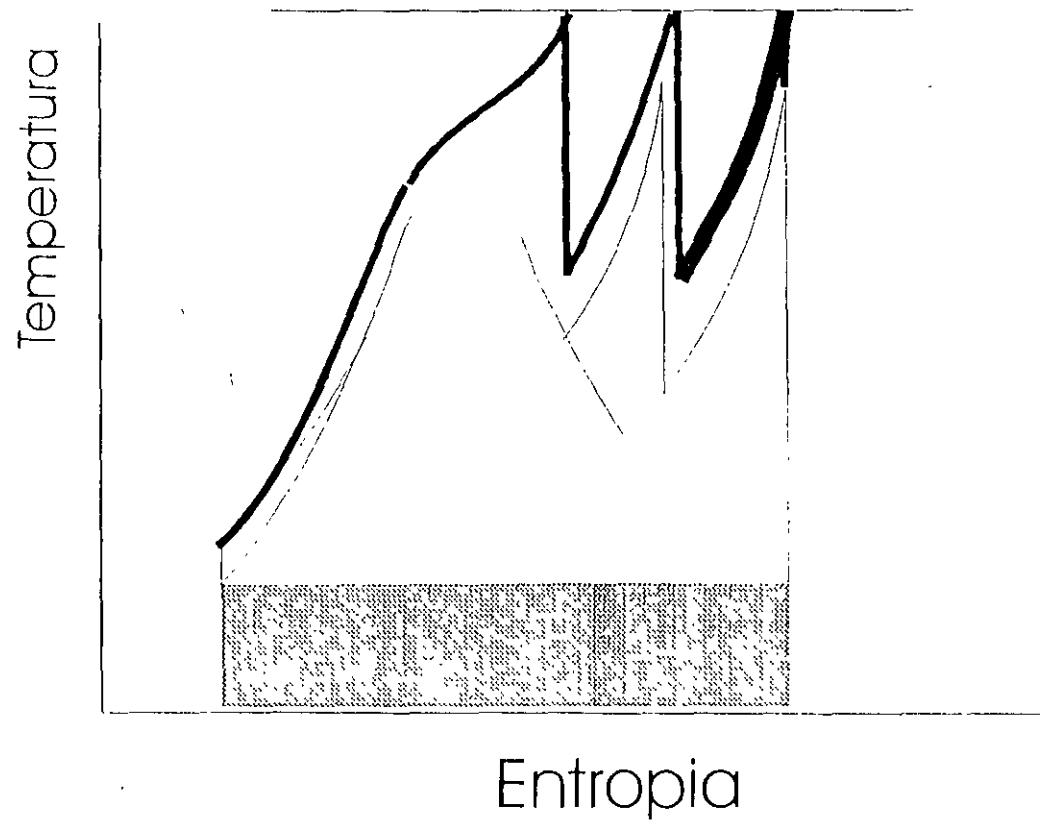
Figure 1. Toppino PCFB cycle demonstration

## LECHO CIRCULANTE PRESURIZADO

- Eficiencia 40 %
- Inversión 1,930 USD/KW
- Costo Generación 6.54 USD/MWh
- Uso de absorbente 140 Kg/MWh
- Sólidos generados 207 Kg/MWh
- Tiempo de const. 4.5 años
- Permite uso de combustibles de alto tiempo de quemado

# CENTRALES SUPERCRITICAS DE ALTA TEMPERATURA

Vapor a 750C Eficiencia 60%



# CENTRALES SUPERCRITICAS DE ALTA TEMPERATURA

- Con *materiales especiales* se eleva la temperatura de vapor de 540 a 750C
- Presión se hace supercrítica
- Tres etapas de recalentamiento
- Eficiencia del ciclo aumenta de 38% a 60%
- Costos no estimables todavía
- Penetración en mercado 2,010

## CAPTURA DE CO2 EN CHIMENEA

- Uso de membranas para separar CO<sub>2</sub>.
- Almacenamiento temporal
- Disposición final en fondo del mar
  - A más de 3000 m el CO<sub>2</sub> se vuelve mas denso que el agua de mar
- Disposición en centros de reforestación ???

# SITUACION TECNOLOGICA ESPERADA EN MEXICO HASTA EL AÑO 2,020

ESTARA DEFINIDA POR:

- Planes actuales de inversión
- Producción de combustibles en México
- Crecimiento del sector
- Inserción en mercado mundial de nuevas tecnologías y sus precios



# PLANES DE EXPANSION DE LA CFE

- Todo el crecimiento de ahora al 2,006 será a base de ciclos combinados con gas
  - Altas eficiencias de generación (50-60%)
  - Bajos costos de inversión (500-800 USD/KW).
  - Tiempos de entrega cortos

## FACTORES QUE INCIDIRAN SOBRE LAS TECNOLOGIAS A UTILIZAR

- Incremento de la producción de coque de petróleo.
- Mayor eficiencia en la refinación
- Incremento esperado en el precio del gas
- Mayor uso de hidrocarburos ligeros. Mayor producción de residuos

## INDICIOS DE LA PENETRACION DE NUEVAS TECNOLOGIAS

- Ciclos combinados ya en construcción y operación
- Dos plantas de lecho fluidizado ya en proyecto (Inversionistas privados)
  - Una para coque de petróleo
  - Una para carbón de alta ceniza

# DISPONIBILIDAD DE COMBUSTIBLES EN MEXICO

Combustible	1996	2006	2020
Combustóleo (millones de m <sup>3</sup> /año)	25.14	15.46	27.69
Coque de petróleo (millones de ton/año)	0	5.6	12.2
Carbón térmico (millones de ton/año)	6.75	9.06	13.67
Gas Natural (miles de millones de m <sup>3</sup> /año)	43.4	49.5	114.9

## EVOLUCION ESPERADA DE LA CAPACIDAD DE GENERACION EN MEXICO

TECNOLOGÍA/AÑO	1996	2006	2020
Térmicas Combustóleo	14,888	6,788	13,400
Térmicas Gas	1,507	6,017	0
Térmicas Carbón	2,600	6,050	10,865
Térmicas con Lecho Fluidizado	0	430	3,910
Ciclo Combinado	1,912	11,933	45,535
Turbogas	1,674	2,424	4,070
Combustión Interna	121	251	695
Nucleoeléctricas	1,309	1,309	1,309
Fuentes alternas	10,780	11,694	13,066
<b>TOTAL</b>	<b>34,791</b>	<b>46,896</b>	<b>92,850</b>

## EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA POR TIPO DE ENERGÉTICO

ENERGÉTICO/AÑO	1996	2006	2020
COMBUSTÓLEO	15,165	7,065	13,792
GAS NATURAL	3,773	19,054	47,533
CARBÓN	2,600	6,050	10,865
DIESEL	1,164	1,294	2,375
COQUE DE PETRÓLEO	0	430	3,910
SUBTOTAL (COMBUSTIBLE FÓSIL)	22,702	33,893	78,475
AGUA	10034	10694	11,690
URANIO	1309	1309	1,309
VAPOR GEOTÉRMICO	744	944	1,320
VIENTO	2	56	56
TOTAL	34,791	46,896	92,850

# CONSUMO DE COMBUSTIBLES PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN MÉXICO (TJ/día).

ENERGÉTICO/AÑO	1996	2006	2020
COMBUSTÓLEO	1,968	1,205	1,872
GAS NATURAL	526	2,896	6,609
CARBÓN	466	882	1,596
DIESEL	27	15	32
COQUE DE PETRÓLEO	0	73	530
<b>TOTAL</b>	<b>2,987</b>	<b>5,071</b>	<b>10,639</b>

# RECAPITULACION

- Las reservas de combustibles fósiles actuales equivalen al consumo de 120 años
- El carbón es el combustible más abundante
- La Orimulsión es un nuevo recurso que amplía las reservas
- Imperativo mejorar eficiencia para:
  - Conservar recursos
  - Reducir emisiones. Tóxicas y Efecto Invernadero
- No se anticipan cambios radicales de tecnología en los próximos 20 años
- Nuclear y celdas de combustible después del 2030



# RECAPITULACION (Cont.)

- Tendencias tecnológicas orientadas a:
  - Usar Ciclo Combinado
  - Aprovechar combustibles sólidos
  - Cogeneración y generación distribuida
  - Mejorar equipos y materiales
- En México
  - Ciclos combinados son la base de nuevas plantas
  - Lechos fluidizados para uso de coque de petróleo

## FRASES CELEBRES

- Le llevará al hombre 50 años para poder volar. (Uno de los hermanos Wright 1901)
- La radio es una locura pasajera (Thomas Alva Edison)
- El mercado mundial de computadoras será de 4 o 5 al año (Ejecutivo de la IBM al final de los años 40's)

