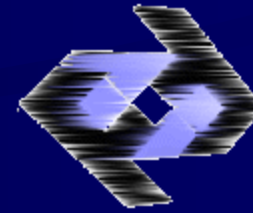




TRABAJO ESPECIAL



# **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE ACTUALIZACION TECNOLOGICA DE LA PLANTA PUNTO FIJO DE C.A.D.A.F.E.**

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
POR LOS BACHILLERES:

QUERO, CESAR  
VILLALOBOS, NERIO

PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO

CARACAS, 2000

# Contenido

- Introducción
- Planteamiento del Problema
- La Planta Punto Fijo
- Descripción de la Turbina a Gas
- Evaluación Técnica
- Análisis de Fallas
- Avances Tecnológicos
- Consideraciones Económicas
- Conclusiones
- Recomendaciones

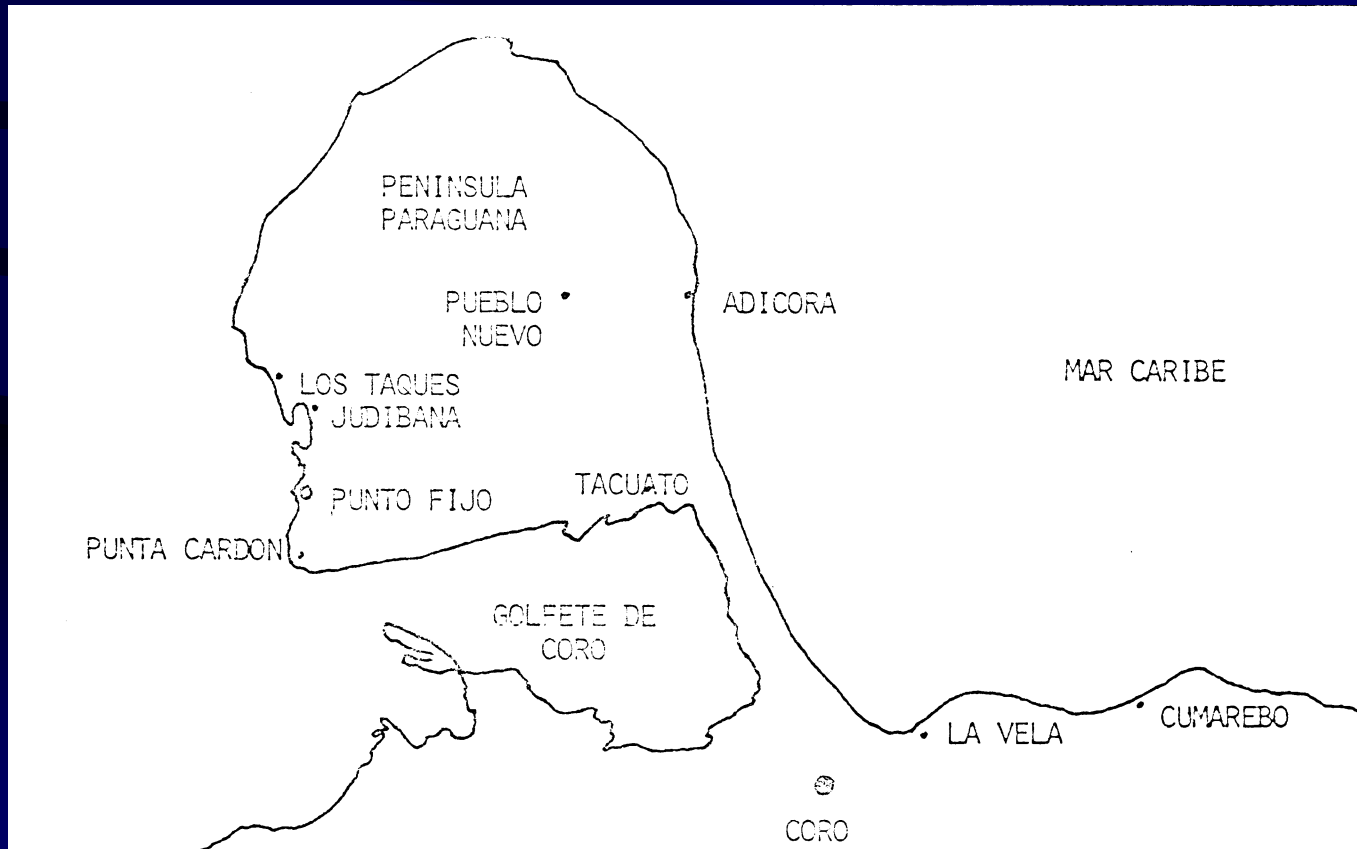
# Introducción

# Planteamiento del Problema

- Rehabilitación de las unidades
- Repotenciación de las unidades
- Venta y compra de unidades nuevas

# La Planta Punto Fijo

- Ubicación geográfica de la Planta



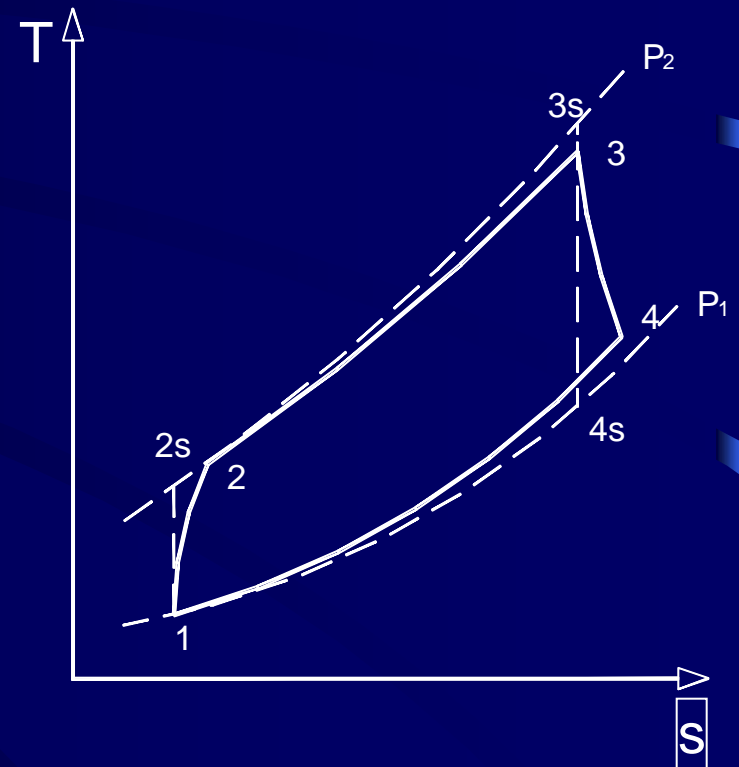
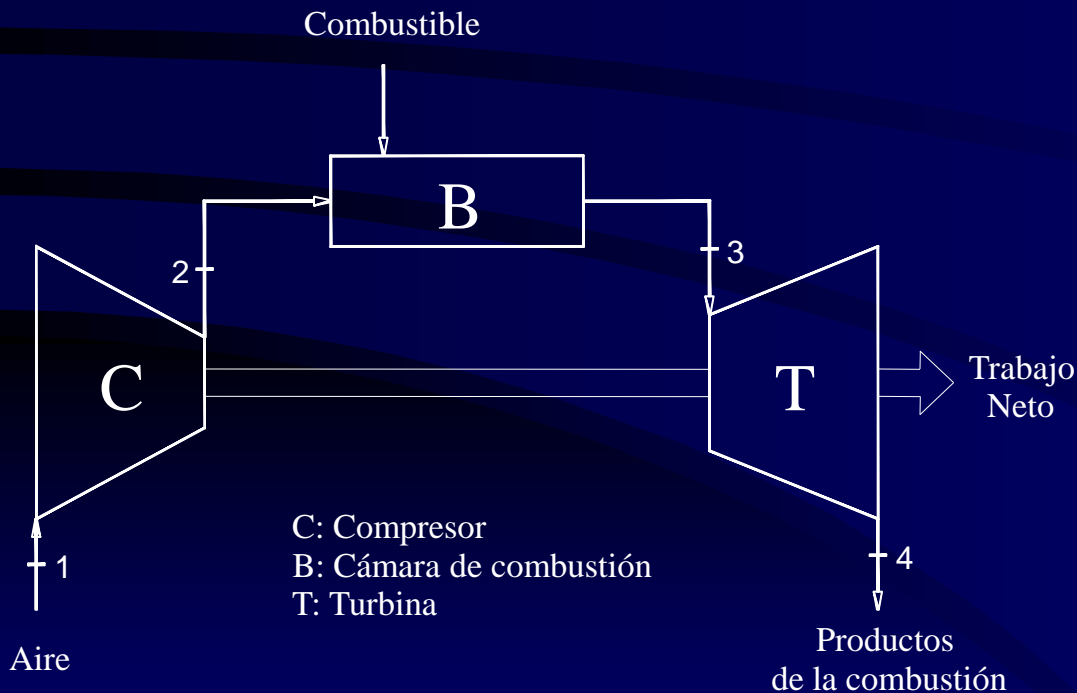
# La Planta Punto Fijo

- Descripción de la Planta

MARCA UNIDAD N°	FECHA PUESTA EN SERVICIO	CAPACIDAD NOMINAL (MW)	TIPO DE COMBUSTIBLE	TIEMPO DE ARRANQUE EN FRIO	HORAS TOTALES DE OPERACION
HITACHI N° 7	1.975	20	DUAL	8'	126.593
HITACHI N° 8	1.978	20	DUAL	8'	121.164
HITACHI N° 9	1.978	20	DUAL	8'	118.523
HITACHI N° 10	1.978	20	DUAL	8'	89.475
HITACHI N° 11	1.978	20	DUAL	8'	81.480
HITACHI N° 12	1.978	20	DUAL	8'	129.306
GENERAL ELECTRIC N° 13	1.978	20	DUAL	8'	100.893
GENERAL ELECTRIC N° 14	1.972	50	DUAL	8'	73.339

# Descripción de la Turbina a Gas

- Principio de funcionamiento



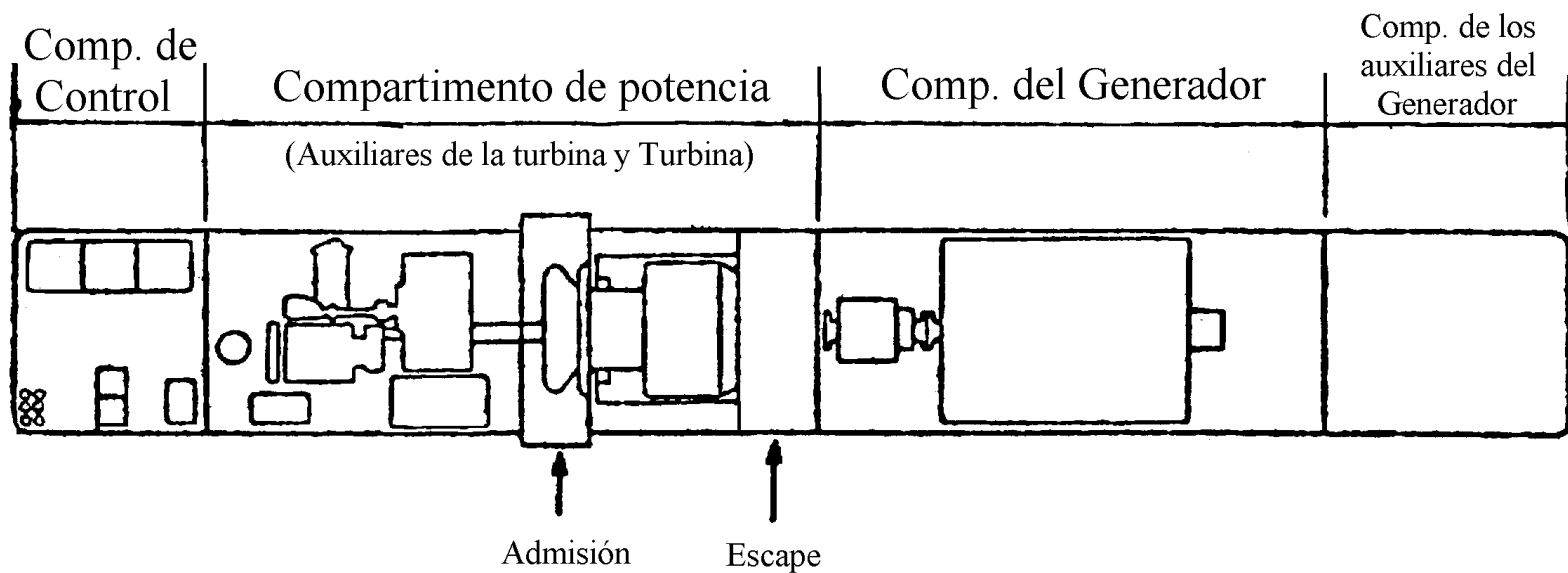
# Descripción de la Turbina a Gas





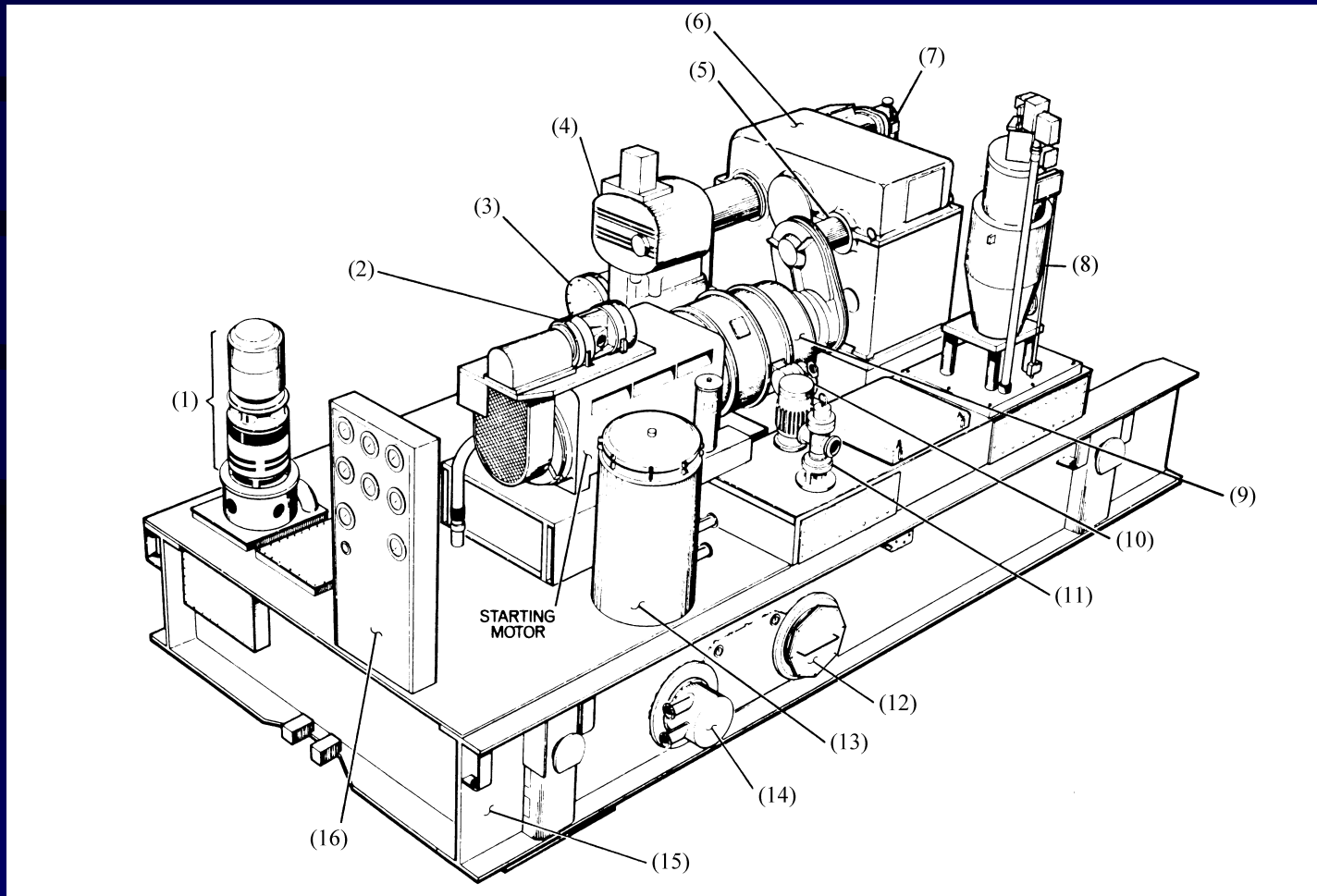
# Descripción de la Turbina a Gas

- Compartimento de control
- Compartimento de potencia
- Compartimento del generador
- Compartimento de los auxiliares del generador



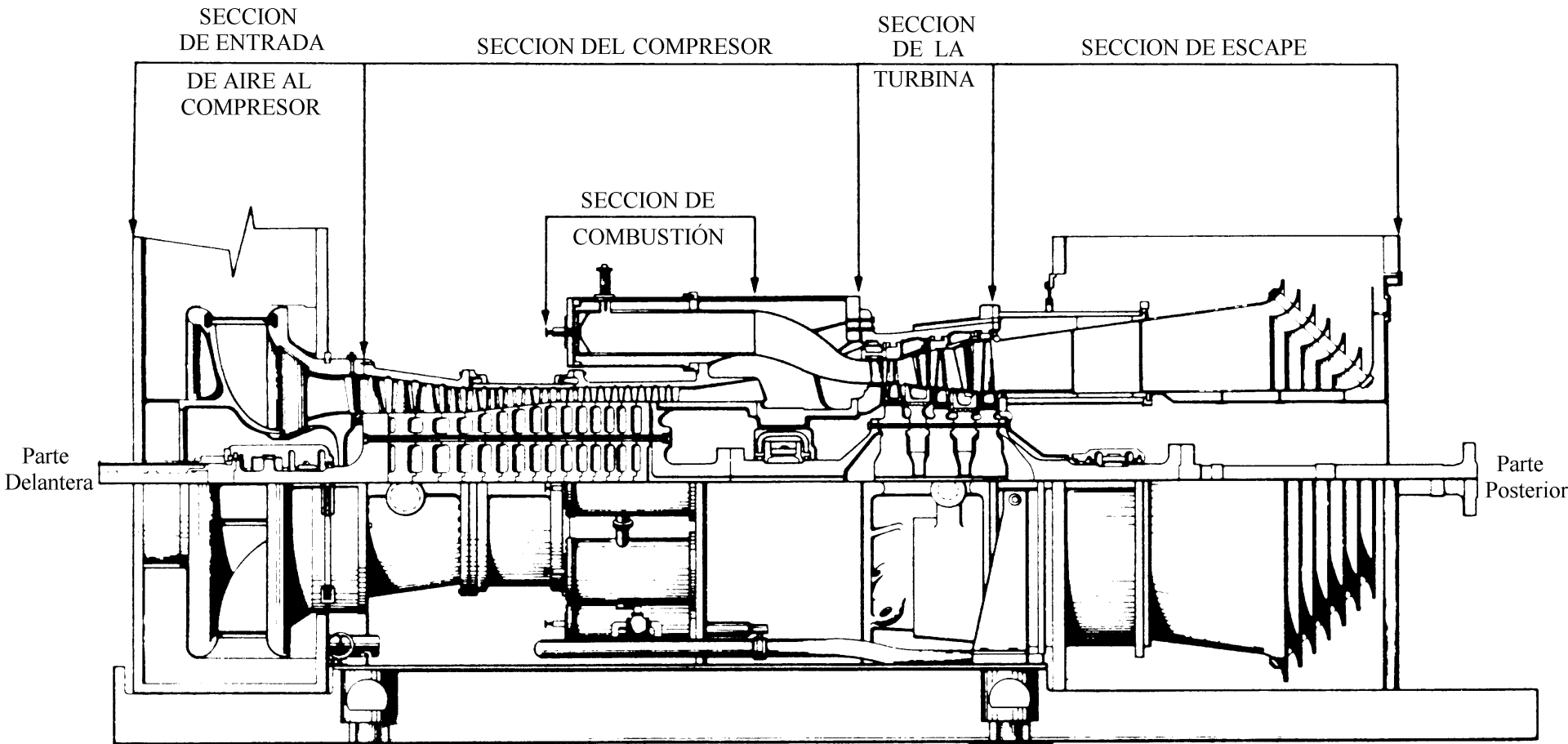
# Descripción de la Turbina a Gas

- Compartimento de los auxiliares de la turbina:



# Descripción de la Turbina a Gas

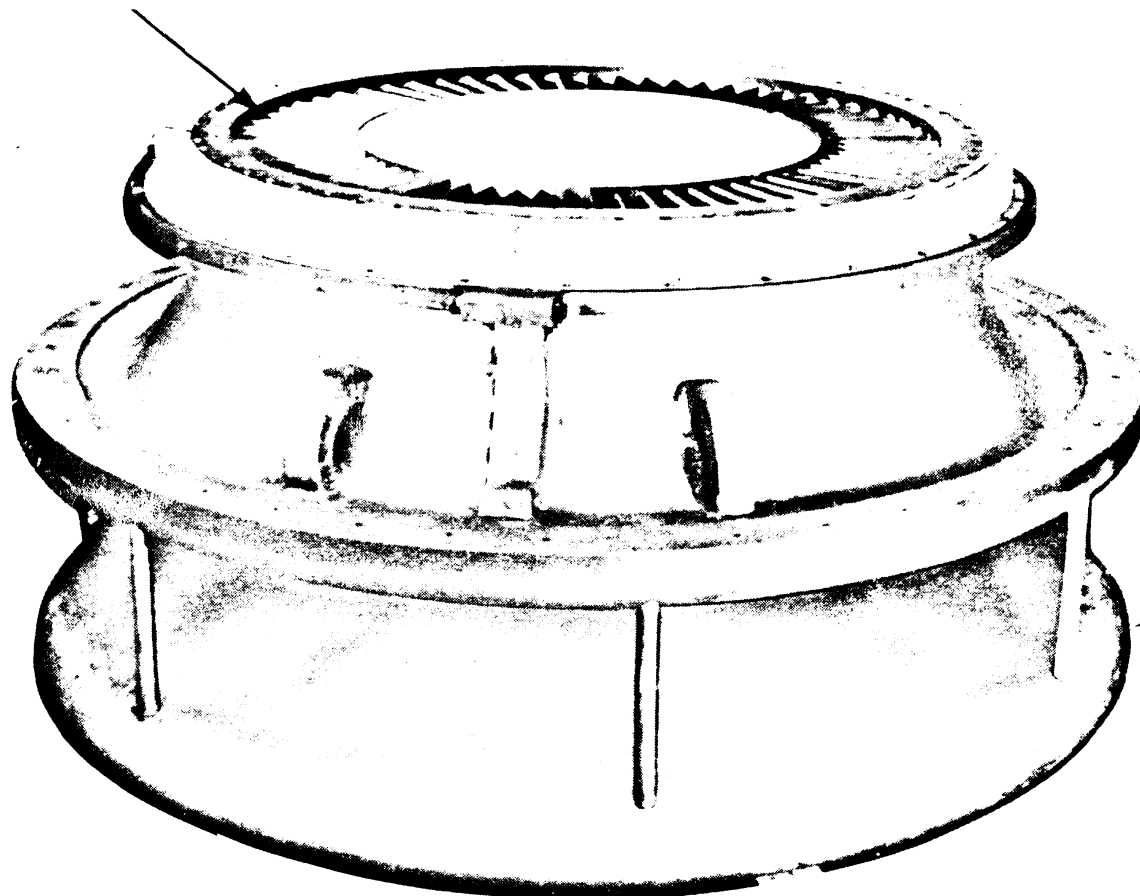
- Compartimento de la turbina:



# Descripción de la Turbina a Gas

- Sección de entrada de aire al compresor:

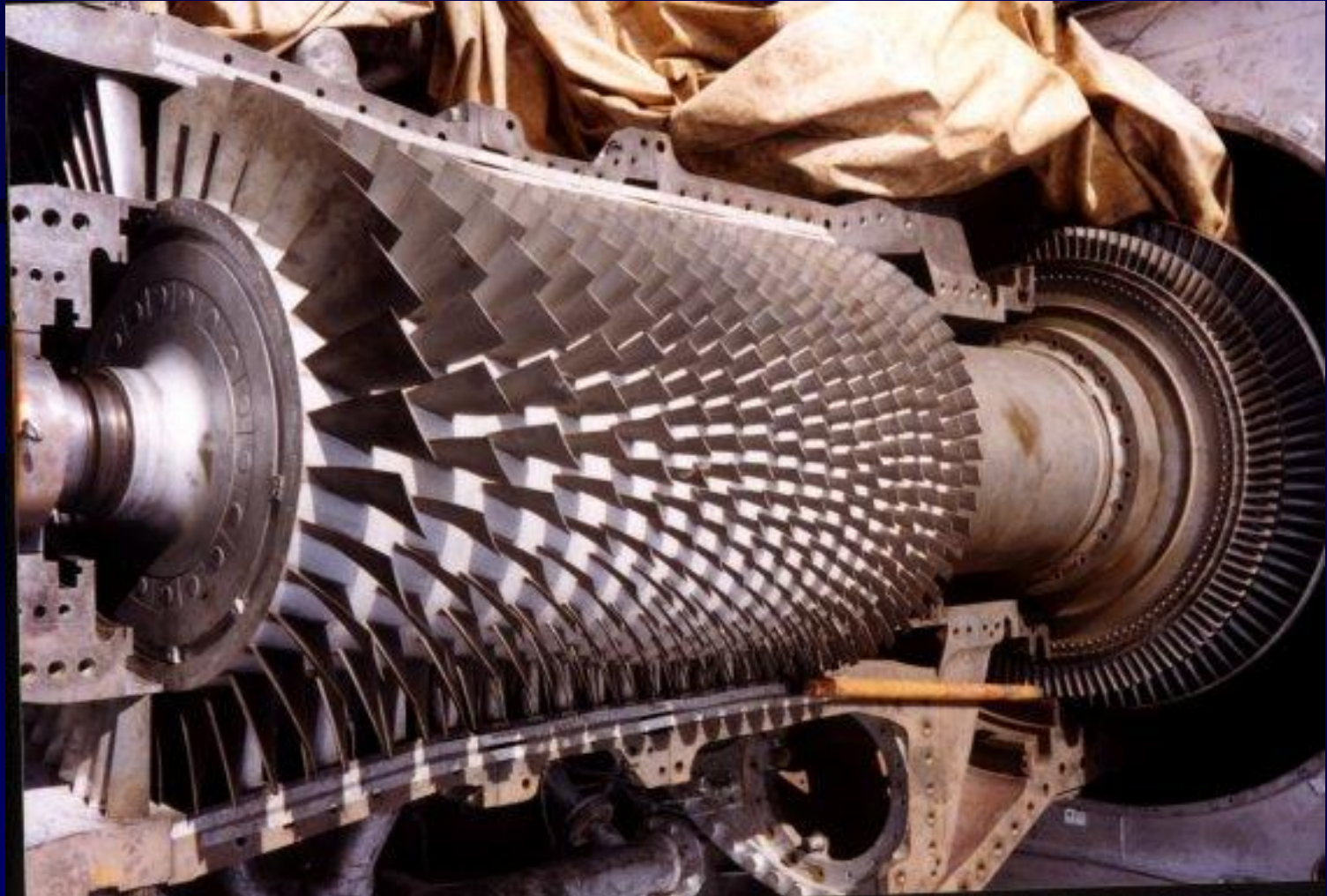
ALABES GUIA DE ENTRADA AL COMPRESOR



CARCASA DE  
ENTRADA

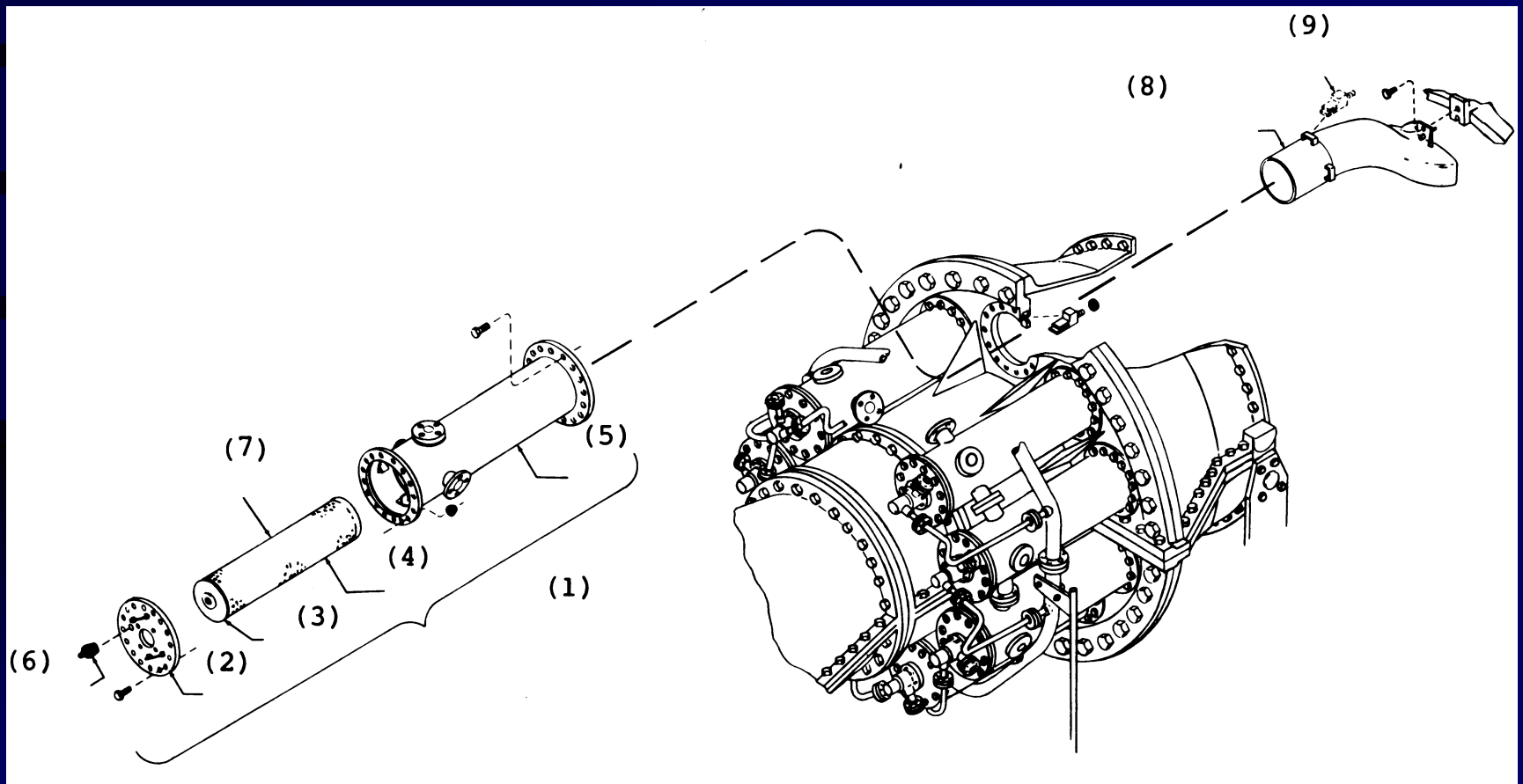
# Descripción de la Turbina a Gas

- Sección del compresor:



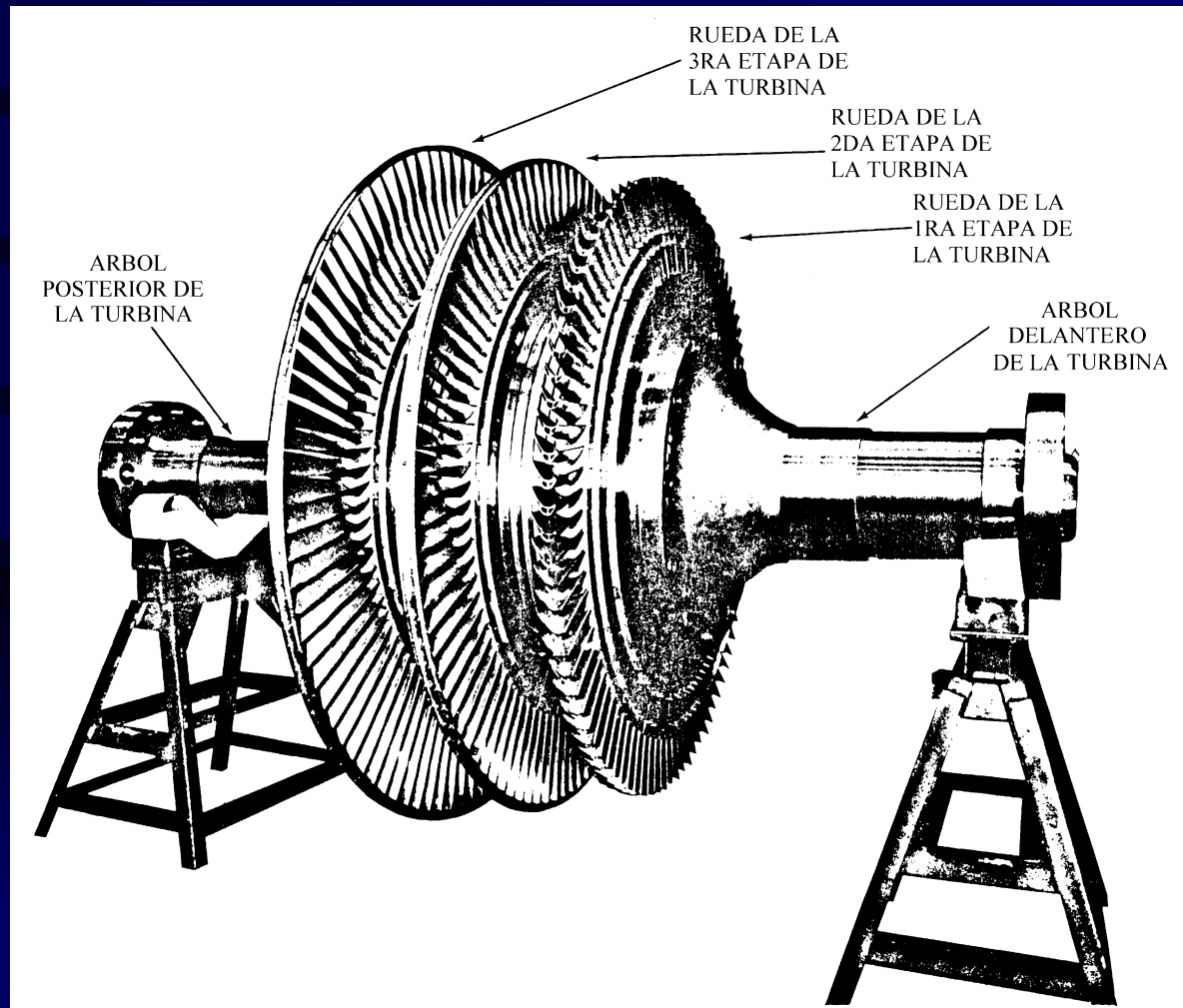
# Descripción de la Turbina a Gas

- Sección de combustión:



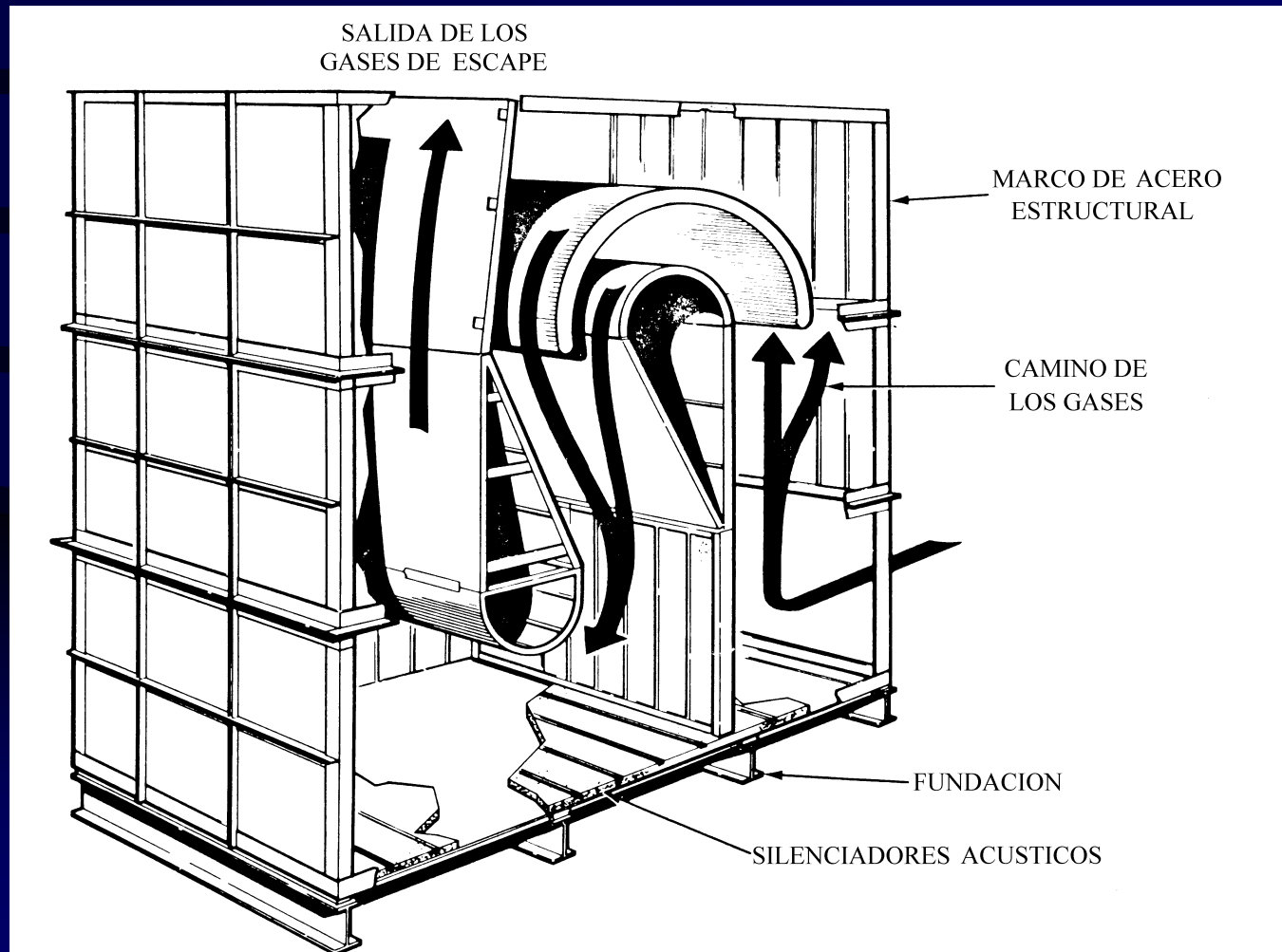
# Descripción de la Turbina a Gas

- Sección de la turbina:



# Descripción de la Turbina a Gas

- Sección de escape:



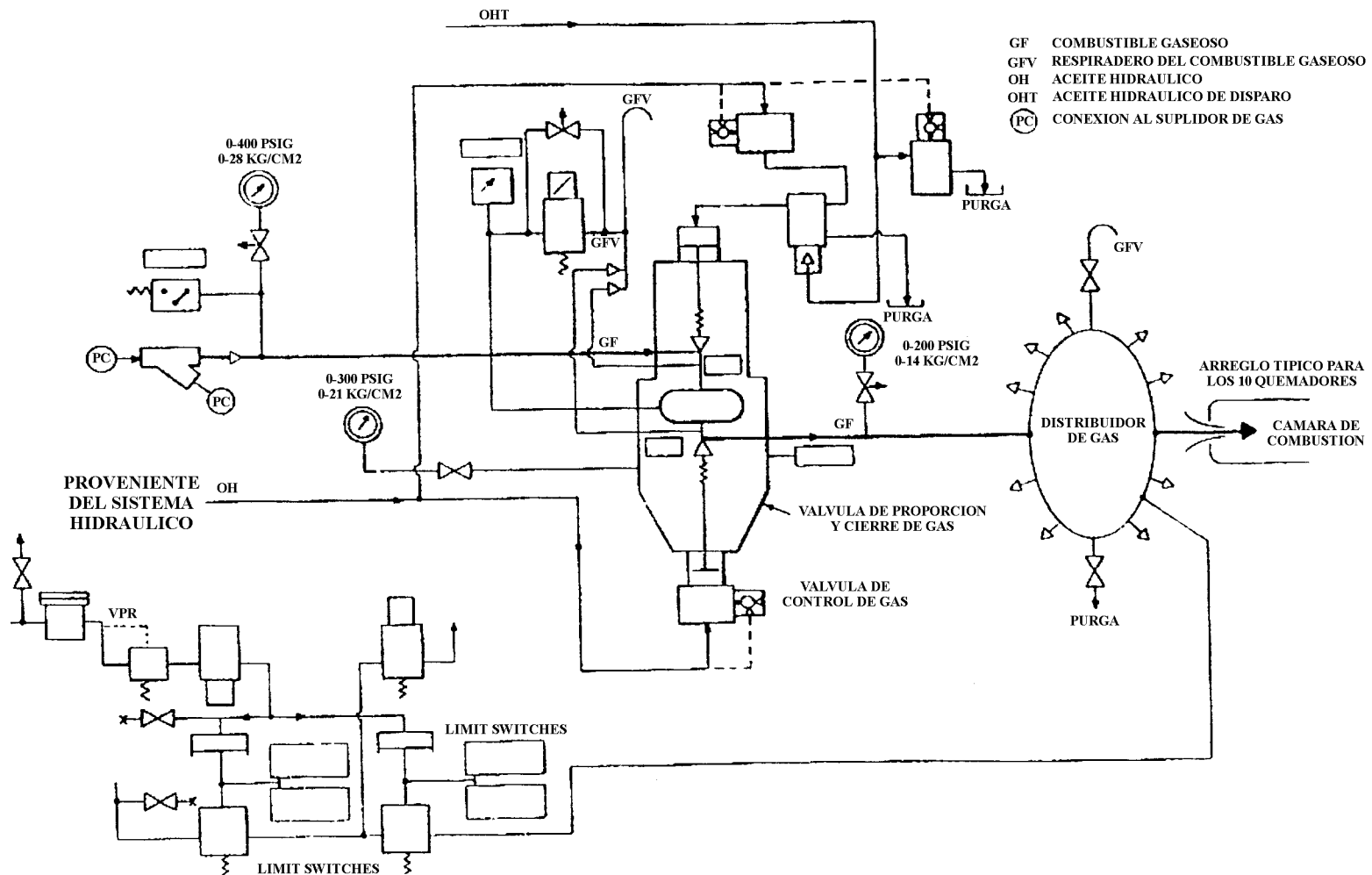


# Descripción de la Turbina a Gas

- **Sistemas que conforman la turbina:**
  - Sistema de arranque (Motor diesel y motor eléctrico)
  - Sistema de combustible (gaseoso y líquido)
  - Sistema de lubricación
  - Sistema de agua de enfriamiento
  - Sistema de suministro hidráulico
  - Sistema de aire de enfriamiento y sello
  - Sistemas de control y protección

# Descripción de la Turbina a Gas

- Sistema de combustible gaseoso:

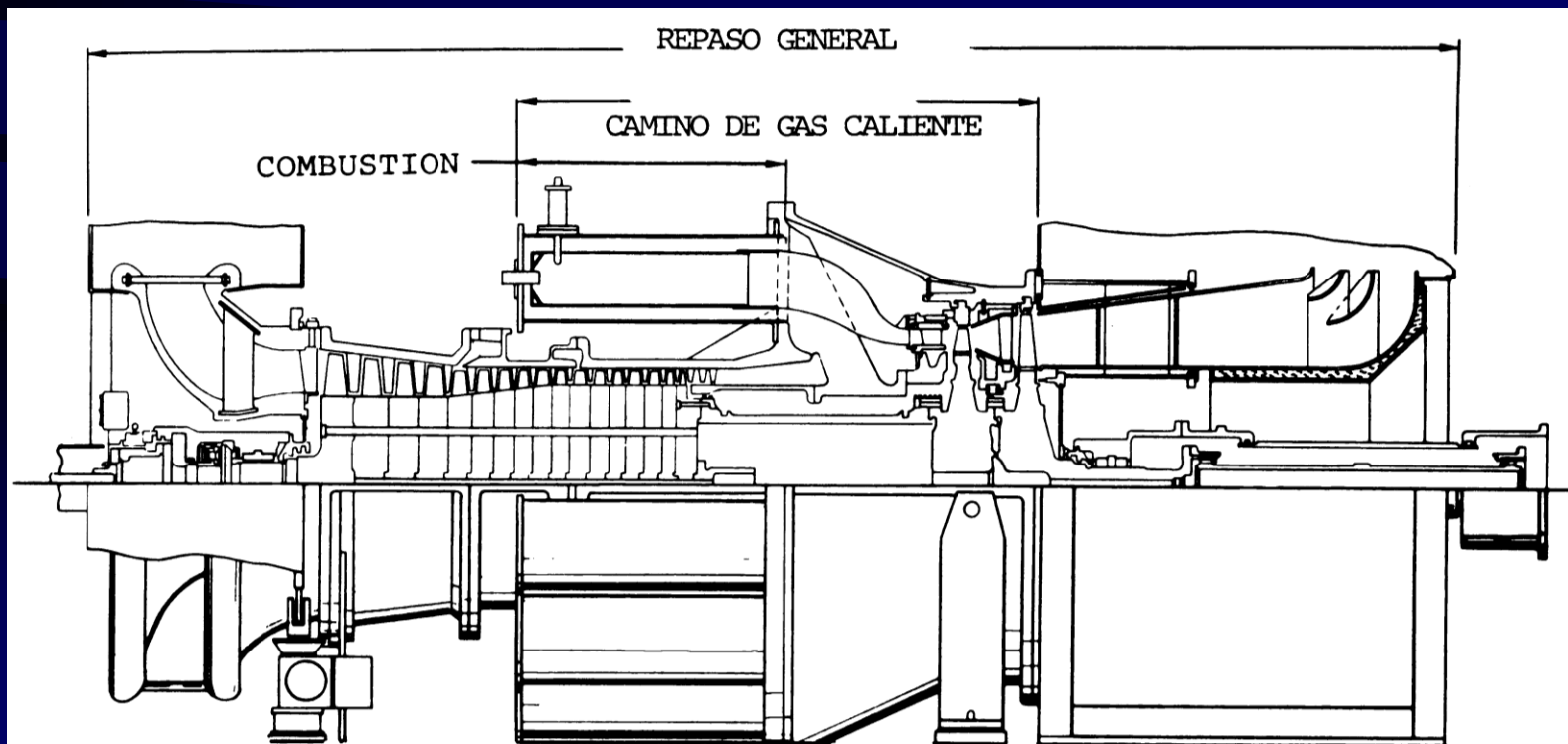


# Descripción de la Turbina a Gas

- **Mantenimiento en turbinas a gas:**
  - Mantenimiento preventivo
  - Mantenimiento predictivo
  - Mantenimiento correctivo

# Descripción de la Turbina a Gas

- **Mantenimiento preventivo:**
- Mantenimiento de la zona de combustión
- Mantenimiento del paso de gases calientes
- Mantenimiento mayor



# Descripción de la Turbina a Gas

- **Mantenimiento preventivo:**

Tipo de combustible	Categoría de Mantenimiento	Horas de operación					
		6.000	12.000	18.000	24.000	30.000	36.000
Diesel	Mantenimiento de la Zona de Combustión	*	*		*	*	
	Mantenimiento de Paso de Gases Calientes			*			
	Mantenimiento Mayor						*

# Descripción de la Turbina a Gas

- **Mantenimiento preventivo:**

Tipo de combustible	Categoría de Mantenimiento	Horas de operación					
		8.000	16.000	24.000	32.000	40.000	48.000
Gas	Mantenimiento de la Zona de Combustión	*	*		*	*	
	Mantenimiento de Paso de Gases Calientes			*			
	Mantenimiento Mayor						*

# Avances Tecnológicos

Piezas de alta tecnología (High Tech)

SPEEDTRONIC Mark V

Máquinas de última generación

# High Tech (Alta Tecnología)

- Incremento de la potencia de salida.
- Disminución del consumo específico de calor.
- Incremento de los intervalos de tiempo entre los mantenimientos.
- Reducción de los costos de mantenimiento.
- Extensión de la vida útil de la unidad en diez años.



## Piezas de alta tecnología:

- Sección del Compresor:

Alabes Guías

- Sistema de combustión:

Cestos Combustores

Detectores de llama (solo MS5001P)

Refrigeradores para los tubos cruza llama (solo MS5001P)

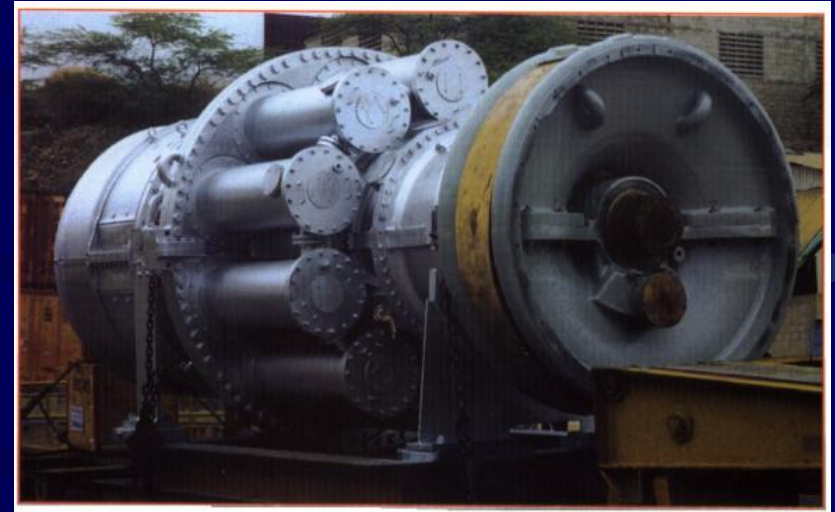
Piezas de transición

- Paso de Gases Calientes:

Toberas y Alabes de primera etapa

Toberas y Alabes de segunda etapa

Toberas y Alabes de tercera etapa (solo MS7001B)



# SECCIÓN DEL COMPRESOR:

## Alabes Guías

- Mejoras introducidas en el diseño y material (GTD-450 para MS5001P).
- Incremento en el flujo de aire.
- Directamente intercambiables.
- Requiere nueva curva característica de rendimiento esperado.
- Silenciadores para el compresor (MS7001B).

# **SISTEMA DE COMBUSTION:**

## **Cestos Combustores**

- Nuevo material Hastelloy-X.
- Menor longitud (MS7001B).
- Incremento de la temperatura de fuego.
- Recubrimiento superficial.

## **Detectores de Llama (MS5001P)**

- Reemplaza por completo al sistema original.

## **Refrigeradores para los tubos cruzallama (MS5001P)**

- Reemplaza por completo al sistema original.

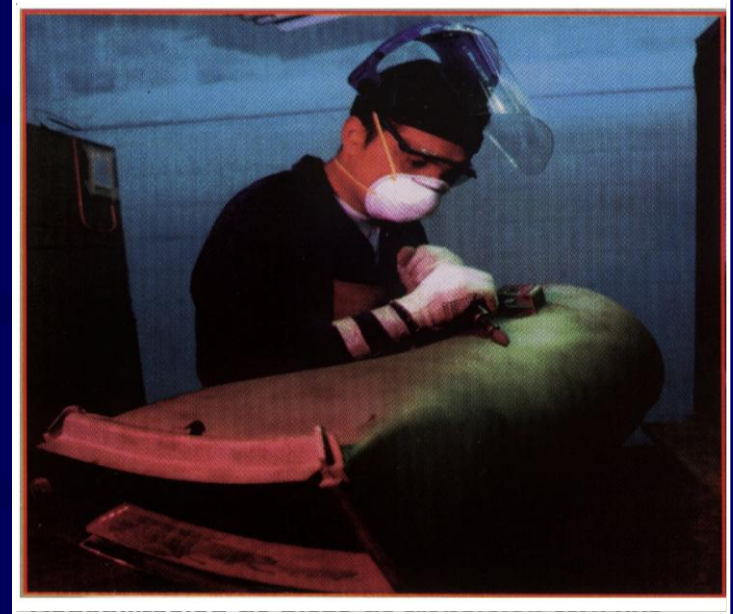
# Piezas de transición

- **MS5001P:**

Material Hastelloy-X  
Nuevos sellos flotantes

- **MS7001B:**

Nuevo material Nimonic 263  
Nuevo diseño estructural  
Nuevo recubrimiento superficial



# PASOS DE GASES CALIENTES:

- **MS5001P:**

Toberas de primera etapa: Material FSX-414  
Modificación estructural de los segmentos

Alabes de primera etapa: Material GTD-111  
Recubrimiento superficial

Toberas de segunda etapa: Material GTD-222  
Modificación estructural

Alabes de segunda etapa: Material U-500

# PASOS DE GASES CALIENTES:

- **MS7001B:**

Toberas de primera etapa:	Nuevos diseños aerodinámicos en los perfiles de las toberas Modificación estructural de los segmentos
Alabes de primera etapa:	Circuitos de doce agujeros para refrigeración Material GTD-111
Toberas de segunda etapa:	Material GTD-222 Modificación estructural
Alabes de segunda etapa:	Material IN-738 Perfil rediseñado
Toberas de tercera etapa:	Material GTD-222 Modificación estructural
Alabes de tercera etapa:	Material U-500 Perfil rediseñado

# CONSIDERACIONES TECNICO-ECONOMICAS

- Reducción del 30% en los costos asociados a la operación y mantenimiento.
- Aumento de los intervalos de tiempo entre mantenimientos de un 50%.

## **MS5001P:**

- Aumento total de la potencia de salida en un 10.50 %.
- Disminución del consumo específico de calor en un 3.90 %.

## **MS7001B:**

- Aumento total de la potencia de salida en un 14.80 %.
- Disminución del consumo específico de calor en un 6.15 %.

# Sistema de Control SPEEDTRONIC Mark V

## Mark V TMR

Utiliza tres sistemas independientes de control y protección.

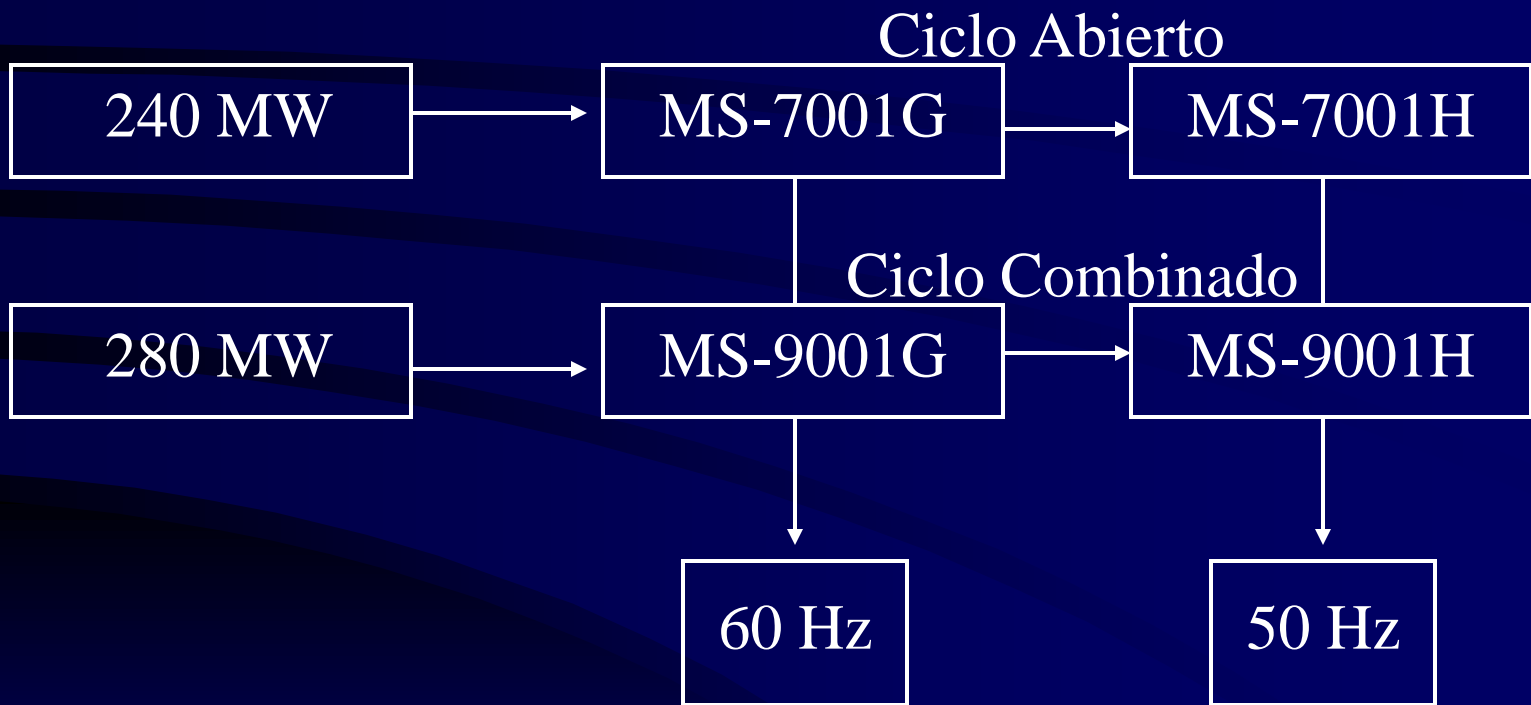
## Mark V SIMPLEX

Sistema de control provisto de un canal sencillo.





# Modelos de nueva producción



# Evaluación Técnica

- **Metodología:**
  - **Inspección visual de la Planta**
  - **Toma de datos**
  - **Cálculos de rendimiento**
    - **Rendimiento estimado**
    - **Rendimiento esperado**
    - **Rendimiento actual**
  - **Análisis de resultados de la evaluación técnica**

# Evaluación Técnica

- Inspección visual de la Planta (Unidad N° 7):



# Evaluación Técnica

- Inspección visual de la Planta (Unidad N° 7):



# Evaluación Técnica

- Inspección visual de la Planta (Unidad N° 14):



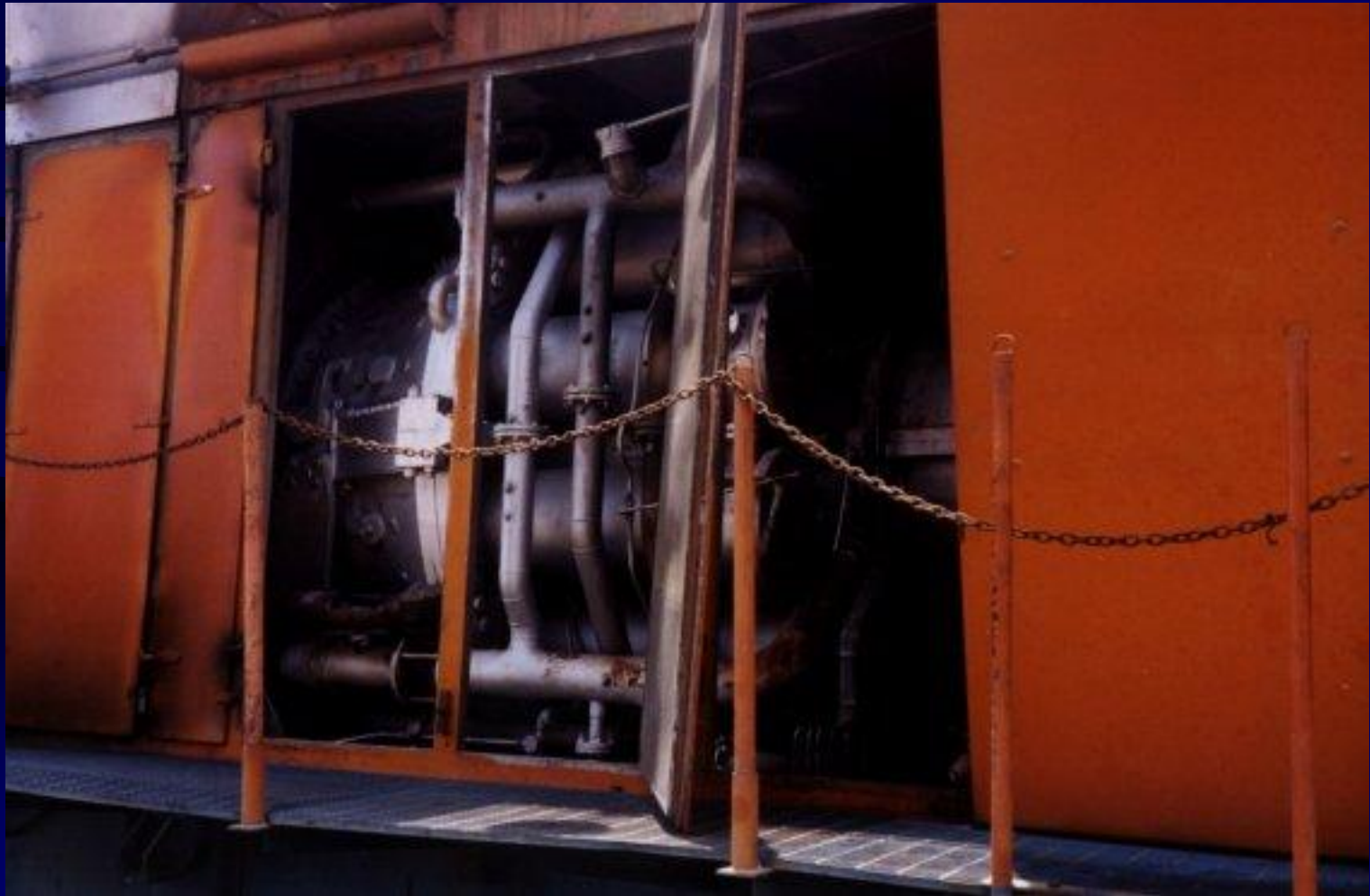
# Evaluación Técnica

- Inspección visual de la Planta (Unidad N° 11):



# Evaluación Técnica

- Inspección visual de la Planta (Unidad N° 9):



# Evaluación Técnica

- Inspección visual de la Planta (Unidad N° 12):





# Evaluación Técnica

- Inspección visual de la Planta (Unidad N° 12):



# Evaluación Técnica

- Inspección visual de la Planta (Unidad N° 10):



# Evaluación Técnica

- Toma de datos:

<b>Temperatura ambiente</b>	°C / °F	32 / 89,6
<b>Presión atmosférica</b>	KPa / psia	101 / 14,65
<b>Altitud sobre el nivel del mar</b>	m / ft	10 / 32,8

<b>Unidad N°</b>	<b>Tiempo medio para 10 rev. (seg)</b>	<b>VCE (volts)</b>	<b>Temp. Prom. Escape (°C / °F)</b>	<b>Presión de descarga del compresor (kPa / psi)</b>
Unidad N° 8	157,1	11,2	469 / 876,2	676,7 / 98,15
Unidad N° 9	158,8	10,9	443 / 829,4	657,0 / 95,29
Unidad N° 10*	147,1	12,5	502 / 935,6	686,5 / 99,57
Unidad N° 12	164,6	11,9	451 / 843,8	617,8 / 89, 60
Unidad N° 13	154,7	11,3	484 / 903,2	666,7 / 96,70

# Evaluación Técnica

- Rendimiento estimado:

Modelo MS 5001 P

Combustible		Gas natural	Diesel
Potencia estimada de salida	KW	24.000	23.450
Consumo específico de calor (LHV)	BTU/kWh	12.320	12.490
Consumo de combustible	BTU/h	295,6x10 <sup>6</sup>	292,9x10 <sup>6</sup>

Combustible		Gas natural	Diesel
Potencia de salida en el sitio	kW	20.809	20.332
Consumo específico de calor en el sitio	BTU/kWh	12.812,8	12.989,6
Eficiencia térmica	%	26,64	26,27
Temperatura límite de los gases de escape	°C / °F	495,56 / 924	495,56 / 924

# Evaluación Técnica

- Rendimiento estimado:

Modelo MS 7001 B

Combustible		Gas natural	Diesel
Potencia estimada de salida	kW	60.300	59.000
Consumo específico de calor (LHV)	BTU/kWh	10.990	11.120
Consumo de combustible	BTU/h	662,6x10 <sup>6</sup>	656,0x10 <sup>6</sup>

Combustible		Gas natural	Diesel
Potencia de salida en el sitio	kW	53.034	51.891
Consumo específico de calor en el sitio	BTU/kWh	11.539,5	11.676
Eficiencia térmica	%	29,57	29,23
Temperatura límite de los gases de escape	°C / °F	521,67 / 971	521,67 / 971

# Evaluación Técnica

- Rendimiento esperado según la temperatura de los gases de escape:

Unidad N°	%PS (%)	%CC (%)	Potencia de salida esperada (kW)	Consumo específico de calor esperada (Btu / kWh)	Eficiencia esperada (%)
8	81	83	16.855,29	13.129,70	25,99
9	75	78	15.606,75	13.325,21	25,61
10	90	91	18.298,80	13.133,93	25,98
12	78	80	16.231,02	13.141,33	25,96
13	82	86	17.063,38	13.437,81	25,40

# Evaluación Técnica

- Rendimiento actual de las unidades:

Unidad N°	Potencia (kW)	Consumo de combustible (m <sup>3</sup> / h)	Consumo específico de calor (Btu/kWh)	Eficiencia (%)
8	13.199,2	5.135,4	13.740,24	24,84
9	13.057,9	4.922,16	13.311,82	25,64
10*	14.096,5	11.572,8**	15.106,03	22,59
12	12.597,8	5.632,97	15.790,57	21,61
13	13.404,0	5206,49	13717,21	24,88

# Evaluación Técnica

- Análisis de resultados de la evaluación técnica:

Unidad No.	Mantenimiento de combustión (8.000 hrs.)	Mantenimiento de paso de gases calientes (24.000hrs.)	Mantenimiento Mayor (48.000 hrs.)	Horas totales de operación
8	10.204	51.643	66.161	126.177
9	9.248	36.728	74.183	123.283
10	7.977	36.589	54.713	94.288
12	9.035	39.867	75.711	134.237
13	15.245	15.245	56.700	105.503



# Evaluación Técnica

- Análisis de resultados de la evaluación técnica:

Unidad N°	Potencia esperada (kW)	Potencia generada (kW)	Diferencia (kW)	Rendimiento esperado (%)	Rendimiento obtenido (%)
8	16.855,29	13.199,2	3.656,09	25,99	24,84
9	15.606,75	13.057,9	2.548,85	25,61	25,64
10	18.298,80	14.096,5	4.202,3	25,98	22,59
12	16.231,02	12.597,8	3.633,22	25,96	21,61
13	17.063,38	13.404,0	3.659,38	25,40	24,88

# Análisis de Fallas

Fallas Típicas

Fallas Atípicas

Estadísticas de fallas presentadas

# Análisis de Fallas

## Fallas Típicas

- Alta frecuencia de ocurrencia.
- Influencia directa sobre la disponibilidad.
- De cualquier envergadura.
- Conocidas por el fabricante.
- Sistema de diagnóstico incluido en el sistema de control.

# Análisis de Fallas

## Fallas Atípicas

- Ocurren esporádicamente.
- Influencia directa sobre la disponibilidad.
- De alta envergadura.
- Motivo de investigación por el fabricante.
- Reparación específica para cada una.

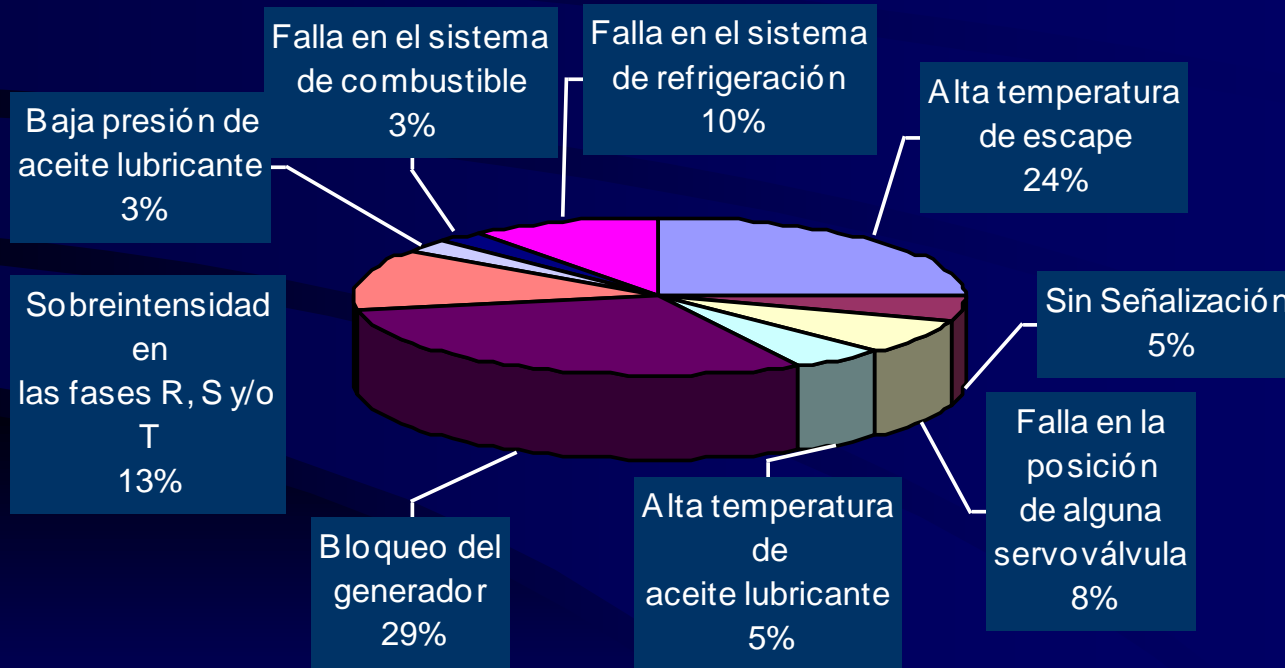
# Análisis de Fallas

## Fallas Atípicas

- Desplazamiento axial del Rotor (Unidad N° 11).
- Problema en el Cojinete N° 1 (Unidad N° 7).
- Explosión del Plenum de Escape (Unidad N° 14).

# Estadísticas de fallas presentadas

Resumen de fallas presentadas por las unidades de la Planta Punto Fijo durante el año 2.000



# Consideraciones Económicas

Posibilidades de actualización tecnológica:

- Rehabilitación de las unidades.
- Repotenciación de las unidades.
- Venta de las unidades para adquirir nuevas turbinas a gas.

Valor Actual Neto (VAN).

Costo de producción del Kilovatio hora (Kwh)

- En la actualidad.
- Al repotenciar las unidades.
- Al comprar unidades nuevas.

# Valor Actual Neto

<b>UNIDAD</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>Co (MM \$)</b>	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	6.5
<b>AF (años)</b>	25	24	24	22	22	20	20	20
<b>N (años)</b>	25	25	25	25	25	25	25	30
<b>CD (MM \$)</b>	4.6	4.416	4.416	4.048	4.048	3.68	3.68	4.334
<b>CR (MM \$)</b>	1.5	1.5	1.5	1.5	3.5	1.5	1.5	3.652
<b>CUN (MM \$)</b>	14.465	14.465	14.465	14.465	14.465	14.465	14.465	35.441
<b>VAN (MM \$)</b>	<b>8.365</b>	<b>8.549</b>	<b>8.549</b>	<b>8.917</b>	<b>6.917</b>	<b>9.285</b>	<b>10.165</b>	<b>27.456</b>



# Costo estimado de producción del Kwh



# Posibilidades Tecnológicas

<b>Posibilidades de actualización tecnológica</b>	<b>Capacidad de la Planta (MW)</b>	<b>Aumento de la capacidad (MW)</b>	<b>Costo Total (Bs).</b>	<b>Costo del Kwh (Bs/Kwh)</b>
<b>Rehabilitación de las Unidades</b>	<b>190</b>	<b>0</b>	<b>9.963.133.560</b>	<b>17.72</b>
<b>Repotenciación de las Unidades</b>	<b>214</b>	<b>24</b>	<b>9.985.120.000</b>	<b>13.30</b>
<b>Venta y sustitución de las Unidades</b>	<b>210.4</b>	<b>20.4</b>	<b>18.711.560.000</b>	<b>18.73</b>

# CONCLUSIONES

- Todas las unidades que se encuentran en funcionamiento actualmente en la planta presentan diferencias notables entre la potencia esperada y la potencia generada, al igual que para el rendimiento, ya que estos valores están por debajo de los establecidos por el fabricante.
- Es evidente la falta de mantenimiento a todo nivel en las unidades turbogeneradoras que conforman la planta, por el hecho de no aplicar las políticas de mantenimiento recomendadas por el fabricante de los equipos, debido a la falta de recursos económicos para costear los mismos.
- La unidad número siete se encuentra en la fase final del mantenimiento mayor, siendo la principal falla presentada en los últimos dos años el disparo por alta temperatura de escape.
- La unidad número ocho es la que se encuentra en mejor estado general, a pesar de haber excedido en casi veinte mil horas el tiempo estipulado para el mantenimiento mayor. No cuenta con la bomba de combustible. Se puede apreciar que el 50% de las fallas ocurridas pertenecen a la parte eléctrica de la misma, ya sea en el generador o en el transformador de la unidad.

## CONCLUSIONES

- La unidad número nueve presenta fugas de gases producto de la combustión en la sección de la turbina y de lubricante en el compartimento de accesorios, además de tener el sistema contra incendios inutilizado por la falta de compuertas en los distintos compartimentos de la turbina y no posee bomba de combustible líquido ni el manómetro para medir la presión diferencial de los filtros de lubricante. La casa de filtros se encuentra muy deteriorada y más de la mitad del número de fallas presentadas ocurrieron en el generador o en el transformador de la unidad.
- La unidad número diez solamente funciona con combustible líquido por no tener completo el sistema de inyección de gas natural, presentando fugas de combustible y de lubricante en el compartimento de accesorios y de gases de la combustión en el compartimento de la turbina. Carece de compuertas en distintos compartimentos que inutilizan el sistema contra incendios y su principal falla se debe a disparos por alta temperatura de escape.

## CONCLUSIONES

- La unidad número once se encuentra en avanzado estado de deterioro, ya que esta “canibalizada”, lo que hace que su recuperación sea muy costosa y requiera mucho tiempo.
- La unidad número doce tiene fugas de aceite lubricante y de gases producto de la combustión, no tiene bomba de combustible líquido y carece de algunas puertas de sus compartimentos. El sistema de control no permite tomar lecturas del funcionamiento de la máquina. Es importante recalcar que la unidad carece de la bomba de combustible líquido, lo que obliga a su utilización solo con Gas Natural.
- La unidad número trece tiene fugas de aceite lubricante y de gases producto de la combustión, además carece de compuertas en distintos compartimentos que inutilizan el sistema contra incendios y del manómetro que mide la presión diferencial de los filtros de lubricante. Su principal falla es el bloqueo de su generador.

## CONCLUSIONES

- La unidad número catorce tenía poco tiempo funcionando luego de la realización del mantenimiento mayor, cuando ocurrió la explosión del plenum de escape y actualmente esta en proceso de licitación su rehabilitación. En el período que estuvo en operación presentaba como principal falla los disparos por altas vibraciones en el rotor compresor-turbina.
- La Rehabilitación de las unidades que conforman planta no aumenta la vida útil del equipo, ni su capacidad instalada.
- La Repotenciación de las unidades incrementa la vida útil de estas en diez años, así como la potencia de salida de la misma, la cual aumenta según el modelo de la turbina y los intervalos de tiempo entre mantenimientos en un 50 %. También se reducen en aproximadamente un 30 % los costos asociados a la operación y mantenimiento, debido a que los materiales utilizados permiten el aumento de la vida útil de las partes, logrando todo esto con una inversión moderada.

## CONCLUSIONES

- La compra de Turbinas nuevas requiere de una fuerte inversión, pero brinda la confiabilidad de estar operando equipos de última tecnología, además de reducir drásticamente los costos por mantenimiento.
- Al considerar todos los aspectos técnicos y económicos de las tres posibilidades planteadas para rehabilitar la planta, se concluye que la opción mas viable es la repotenciación paulatina de las unidades, ya que con una inversión moderada se incrementa la vida útil de las unidades, la capacidad instalada y los intervalos de tiempo entre los mantenimientos, lo cual reduciría también los costos asociados a estos últimos.

## RECOMENDACIONES

- A la hora de la ejecución de los trabajos de repotenciación, se recomienda realizarlos a una turbina a la vez, comenzando con la unidad N° 12, por ser esta la que tiene mayor cantidad de horas totales de operación y encontrarse con todos los tiempos estipulados para los mantenimientos excedidos. Bajo este mismo criterio, se debe continuar con las maquinas número 9, 8, 13 y 10 respectivamente. Mención especial requiere el caso de la unidad N° 11, por su avanzado estado de deterioro, ya que el tiempo necesario para la realización del trabajo sería mayor en comparación con las demás maquinas, por tanto, debe ser dejada de última. Como a la unidad N° 7 se le acaba de realizar mantenimiento mayor, se recomienda esperar que cumpla su ciclo para realizar su repotenciación; igualmente para la maquina N° 14, ya que su rehabilitación para la fecha de culminación de este trabajo esta por empezar.
- Es recomendable la instalación del sistema de control SPEEDTRONIC Mark V a todas las unidades de la planta, ya que esto permitiría tener una mayor confiabilidad en el uso de esta maquinas. Esta labor puede ser realizada a la par de los trabajos de rehabilitación para cada unidad.



## RECOMENDACIONES

- Se deben cumplir al pie de la letra todos los planes de mantenimiento recomendados por el fabricante, para así obtener el rendimiento esperado de los equipos y reducir los costos ocasionados por el mantenimiento correctivo.
- Así como serán repotenciadas las turbinas a gas, para lograr la actualización tecnológica de la planta, es necesario dotar de equipos nuevos a los talleres de mantenimiento, pues muchos de ellos se encuentran averiados u obsoletos.
- A fin de recaudar fondos que disminuirían la inversión a realizar, se recomienda la venta de las unidades ya desincorporadas, es decir, desde la unidad N° 1 hasta la N° 6 inclusive, ya que esto permitiría a su vez el uso de la infraestructura civil donde se encuentran con fines productivos (Almacén, oficinas o talleres, entre otros).
- Es necesaria la capacitación del personal que laborará con los equipos repotenciados, ya que esto permitirá un uso más eficiente de las turbinas y a su vez motivará a estos a cuidar y mantener en buen estado las máquinas.