

La Turbina a Gas, mas que una Alternativa

Pedro Gerardo Peña Montoya

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

Director de tesis: Ing. Rafael Drouet Candell

Títulos

Ingeniero Mecánico ESPOL

B.S.M.E Gonzaga University, Spokane, Washington, USA

E.I.T. By the State of Washington

Email: rafaeldrouet@yahoo.com

rdrouet@espol.edu.ec

Resumen

Este enfoque busca como objetivo primordial el poder viabilizar la alternativa de producción de energía eléctrica mediante las centrales térmicas que utilizan turbinas a gas.

Se recopilan aquí antecedentes históricos del déficit energético que el país severamente soportó en la década de los noventa. Mencionamos también, por considerar a la turbina a gas como ente básico en nuestro propósito, la estructura de la misma y su principio de operación; así mismo, los diversos tipos de turbinas existentes.

Se enlistan algunos datos importantes sobre la demanda de energía a nivel nacional y la generación de energía eléctrica por parte de los diferentes sistemas de conversión energética existentes en nuestro medio tales como: el hidroeléctrico, el térmico a vapor, el térmico a gas, el térmico a combustión interna.

Finalmente se realiza una comparación de los costos de instalación y tiempo de montaje para los diversos sistemas antes mencionados, para así concluir que es importante instalar turbinas a gas como solución inmediata para satisfacer la demanda energética.

Palabras claves: Energía, Turbina a gas y Energía Alternativa

Abstract

This principal objective focuses on the fact that we have the alternative of electric power production by means of the thermal power station that uses gas turbines.

There are gathered previous records of the energy deficit that the country severely supported in the decade of the ninety. We mention the gas turbine as the basic entity for our purposes; the structure of the same, and its operating principle; likewise the existence of diverse types of turbines.

Some important data are listed on the energy demand at national level, and the electric power generation of the different existent systems of energy conversion in our environment, such as: the hydroelectric, the thermal based on steam, the thermal based on gas, and the thermal based on internal combustion engines.

Finally we submit a comparison of the installation costs and time of installation for the various systems mentioned to conclude that it is important to install gas turbines as the immediate solution to satisfy the actual growing energy demand.

1. Introducción

Constantemente la demanda de energía eléctrica crece en el país, y se siguen escuchando voces sobre posibles racionamientos.

Si bien es cierto una central hidroeléctrica dota de una considerable cantidad de energía eléctrica, su instalación no se ejecuta en un tiempo menor a 3 años. Este artículo fundamenta su análisis en el corto tiempo de instalación y montaje que una central a gas ofrece, a más de los costos de generación que presenta.

2. Problemática energética en el país

Mucho se habló anteriormente sobre los apagones y la forma como perjudicaron al país. Desde el año 1992 se agudizaron estos problemas y las pérdidas alcanzan los 415 millones de dólares, en 1997 las pérdidas sobrepasan los 600 millones de dólares.

La demanda del país está bordeando los 2400 MW y aproximadamente el 70% de la misma es de origen hidroeléctrico, el 30% restante es producido por las centrales térmicas. Las centrales de Daule Peripa y San Francisco son las que mayor potencia eléctrica generan, 210 y 230 MW., respectivamente.

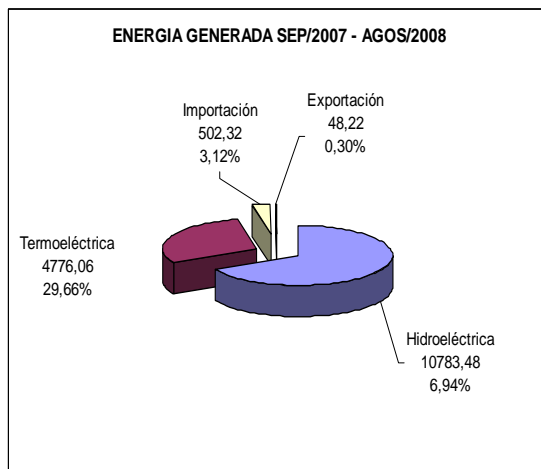


Figura 1. Participación de la capacidad instalada en la generación de energía (últimos 12 meses).

3. Sistemas de generación más comunes en nuestro medio

En nuestro medio los sistemas hidroeléctricos, térmico a vapor, térmico a gas, térmico de combustión interna y sistema eólico, este último en Galápagos, generan energía eléctrica en nuestra nación.

3.1. El sistema hidroeléctrico

Una central hidroeléctrica está estructurada por los siguientes equipos:

- El embalse
- La presa
- Canal de derivación
- Tubería de presión
- Casa de máquinas
- Tubería de desagüe

3.1.1. El embalse. Es el lugar donde se almacena el agua.

3.1.2. La presa. Es una construcción que se levanta sobre el lecho del río y sirve para almacenar el agua en el embalse.

3.1.3. Canal de derivación. El canal de derivación sirve para conducir el agua del embalse hacia las unidades de generación, aguas abajo.

3.1.4. Chimenea de equilibrio. Sirve para amortiguar los golpes de ariete que pudieran producirse en la tubería debido a la sobre presión y/o bajada súbita de la demanda de caudal, consecuencia de súbitas caídas de la carga.

3.1.5. Tubería de presión. Conduce el agua desde el embalse hasta las turbinas.

3.1.6. Casa de máquinas. Este es el lugar donde se instalan las turbinas, los generadores, los sistemas auxiliares, los sistemas de control, protección y comando.

3.1.7. Tubería de desagüe. Es una tubería que conduce el agua turbinada hasta el lecho del río, aguas abajo, una vez que ha pasado por las turbinas.

3.2. El sistema térmico-vapor

En la central de vapor se producen una serie de cambios o conversiones de energía para finalmente obtener la energía eléctrica. En esta central la energía primaria es un combustible, generalmente el bunker, del que se obtiene energía térmica transferida al agua

la cual se convierte en vapor, y que a su vez se transforma en energía cinética para mover los alabes de la turbina. El movimiento de rotación de los alabes es energía mecánica, y finalmente la energía eléctrica se consigue con el giro del rotor de los generadores. La central básica de vapor esta constituido por los siguientes elementos:

- Caldera
- Turbina
- Generador eléctrico
- Condensador
- Precalentadores
- Economizadores

3.2.1. Caldera. La caldera es el equipo en el cual se genera vapor a elevada presión y alta temperatura. Esta caldera es un recipiente cerrado que es abastecido con agua altamente pura. Gracias al calor producido por la combustión del combustible se produce la transformación del agua en vapor de agua.

3.2.2. Turbina. La turbina transforma la energía térmica y potencial del vapor en energía cinética, al expandirse el vapor en las toberas de la turbina. De aquí se dirige en flujo axial hacia las zonas de más baja presión.

Cuando estos chorros de vapor a alta velocidad inciden sobre los alabes del rotor de la turbina, la energía cinética se transforma en mecánica y ésta posteriormente en eléctrica una vez que el rotor de la turbina movió al rotor del generador.

3.2.3. Generador Eléctrico. En el generador eléctrico se realiza el cambio de energía mecánica a eléctrica. Las unidades de generación trabajan generalmente con generadores trifásicos de dos o cuatro polos, de rotor cilíndrico y su voltaje nominal en los bornes oscila entre 13,8 KV., y 25 KV.

3.2.4. Condensador. El condensador permite la máxima expansión del vapor en la turbina ya que éste tiene una presión por debajo de la atmosférica, lo que se conoce como presión de vacío. El sistema de condensación al vacío se usa en todas las grandes centrales.

Además permite recuperar el vapor condensado para reutilizarlo en un nuevo ciclo. Requiere un sistema de enfriamiento que puede ser abierto o cerrado, utilizando torres de enfriamiento.

3.2.5. Precalentadores de aire. Aprovechan la energía calórica de los gases de escape para precalentar el aire antes de ir al hogar de la caldera.

3.2.6. Economizadores. Luego de que los gases pasan por la caldera contienen aún cierta energía calórica. Para aprovechar esta energía calórica se precalienta el agua de alimentación en el economizador. También existen economizadores que operan con vapor proveniente de las varias extracciones de vapor de la turbina.

3.3. Sistema térmico-gas

En una unidad a gas se utiliza la energía desarrollada en la combustión de la mezcla combustible-aire. Los gases de la combustión se expanden en la turbina.

Una central a gas la conforman:

- El compresor
- La cámara de combustión
- La turbina

El sistema térmico a gas usualmente operando con Diesel genera una potencia de 715,20 MW. que son una parte representativa del 30% del global en la demanda. Este es un aspecto importante a considerar.

Una central a gas la constituyen: el compresor, que es el elemento que sirve para comprimir el aire, incrementando su presión y temperatura; la cámara de combustión que es el lugar físico donde se produce la combustión de la mezcla aire combustible, y la turbina que es aquel equipo en donde la energía térmica potencial y cinética de los gases se convierte en mecánica.

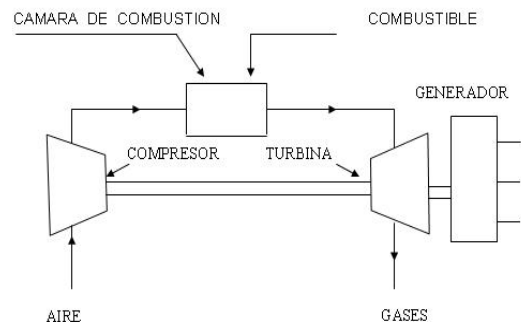


Figura 2. Circuito abierto de turbina a gas

Tabla 1. Generación hidroeléctrica

CENTRAL	TECNOLOGIA	POTENCIA (MW)
PAUTE	1075,00	HIDROELEC- -TRICA
PUCARA	73,00	HIDROELÉC- -TRICA

MARCEL LANIADO	213,00	HIDROELÉC- -TRICA
ELECAUSTRO	38,40	HIDROELÉC- -TRICA
AGOYAN	157,00	HIDROELÉC- -TRICA
SAN FRANCISCO	224,00	HIDROELÉC- -TRICA
E. E. QUITO	96,90	HIDROELÉC- -TRICA
RIOBAMBA	13,40	HIDROELÉC- -TRICA
COTOPAXI	9,00	HIDROELÉC- -TRICA
EMELNORTE	12,70	HIDROELÉC- -TRICA
AMBATO	3,00	HIDROELÉC- -TRICA
BOLIVAR	1,35	HIDROELÉC- -TRICA
EMAAPQ	18,00	HIDROELÉC- -TRICA
LORETO	2,00	HIDROELÉC- -TRICA
PAPALLACTA	3,00	HIDROELÉC- -TRICA
ABANICO	38,50	HIDROELÉC- -TRICA
SIBIMBE	15,00	HIDROELÉC- -TRICA
LA ESPERANZA	5,80	HIDROELÉC- -TRICA
POZA HONDA	3,00	HIDROELÉC- -TRICA
CALOPE	17,20	HIDROELÉC- -TRICA
REGIONAL DEL SUR	2,40	HIDROELÉC- -TRICA
TOTAL	2021,65	

Tabla 2. Generación por interconexión

CENTRAL	POTENCIA (kV)	TECNOLOGÍA
COLOMBIA	138	INTERCONEXIÓN
COLOMBIA	230	INTERCONEXIÓN
PERU	220	INTERCONEXIÓN
TOTAL	588	

Tabla 3. Generación por biomasa

CENTRAL	POTENCIA(MW)	TECNOLOGÍA
ING. SAN CARLOS	12,00	BIOMASA BAGAZO
ECOELECTRIC	27,50	BIOMASA BAGAZO
ECUDOS	18,50	BOMASA BAGAZO
TOTAL	48,00	

Tabla 4. Generación a vapor

CENTRAL	POTENCIA (MW)	TECNOLOGÍA
TERMOESMERALDAS	132,50	TERMICA VAPOR
TRINITARIA	133,00	TERMICA VAPOR
GONZALO CEVALLOS	142,40	TERMICA VAPOR
A. SANTOS	33,00	TERMICA VAPOR
ULYSSEAS P. BARGE	22,00	TERMICA VAPOR
TOTAL	462,90	

Tabla 5. Generación a gas

CENTRAL	POTENCIA(MW)	TECNOLOGÍA
MACHALA	140,00	TERMICA G.

POWER		NATURAL
TOTAL	140,00	

Tabla 6. Generación con motor de combustión interna

CENTRAL	POTENCIA (MW)	TECNOLOGIA
GUANGOPOLO	32,60	TERMICA MCI
DESCANSO	17,20	TERMICA MCI
G. HERNÁNDEZ	31,20	TERMICA MCI
TERMOGUAYAS	150,00	TERMICA MCI
GENEROCA	34,33	TERMICA MCI
TOTAL	265.33	

EMELORO	12,60	TERMICA DIESEL
RIOBAMBA	2,00	TERMICA DIESEL
EMELNORTE	1,80	TERMICA DIESEL
EMELBO	2,00	TERMICA DIESEL
AMBATO C. LLIGUA	3,30	TERMICA DIESEL
EEQUITO LULUNCOTO	5,50	TERMICA DIESEL
EECSUR C. MONAY	6,60	TERMICA DIESEL
EE C. CATAMAYO	15,20	TERMICA DIESEL
TOTAL	715,20	

Tabla 7. Generación con diesel (turbinas a gas)

CENTRAL	POTENCIA(MW)	TECNOLOGÍA
A. SANTOS	97,50	TERMICA DIESEL
A. TINAJERO	80,00	TERMICA DIESEL
ELECTROQUIL	181,00	TERMICA DIESEL
ENRIQUE GARCIA	96,00	TERMICA DIESEL
G. CEVALLOS	20,00	TERMICA DIESEL
VICTORIA II	102,00	TERMICA DIESEL
SANTA ROSA	50,50	TERMICA DIESEL
EMELESA	7,20	TERMICA DIESEL
EMELMANABI	32,00	TERMICA DIESEL

4. La turbina a gas

4.1. Descripción de una turbina a gas

La turbina de gas es una maquina en la que la energía cinética de un fluido en movimiento, es convertida en energía mecánica por el impulso o la reacción del fluido mediante una serie de pasos de hélices, o aspas, o alabes alrededor de un disco o cilindro.

De una manera general, el sistema turbina de gas lo conforman un compresor, una cámara de combustión, y la turbina propiamente dicha. Esta última extrae energía suficiente para impulsar al compresor, y generar un trabajo útil.

4.2. Principio de operación de una turbina a gas

El principio de operación de la turbina de gas lo podemos comprender mediante la siguiente explicación: si tenemos un globo con aire comprimido en su interior, este ejerce presión sobre los linderos del globo como una fuerza compensada y opuesta en todas direcciones. En su estado físico, la masa de aire es proporcional a la densidad, y la

densidad es proporcional a la temperatura y a la presión. Cuando las moléculas de aire se expanden disminuye la temperatura y la presión de los mismos, pero si estas moléculas llegaran a estrecharse o juntarse mucho mas como en el caso de un aire comprimido , la temperatura y la presión aumentan como lo establece la ley de Boyle Mariotte y Charles Guy Luzac $K = P \cdot V / T$.

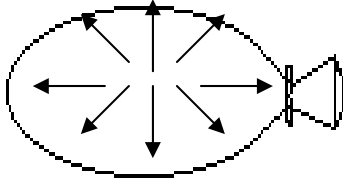


Figura 3. Globo con aire comprimido

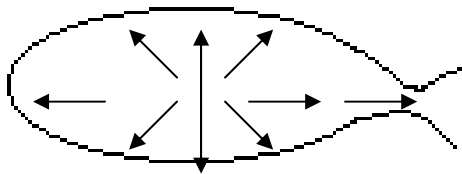


Figura 4. Globo con aire liberado

Al liberarse aire del globo la masa que estaba comprimida en su interior sale con una velocidad que produce una fuerza o empuje que no puede ser compensadas, y que aumentan si la masa y la aceleración crecen, como lo establece la segunda ley de Newton $F = m \cdot a$.

La fuerza creada por la aceleración del aire al salir del globo produce una fuerza de igual magnitud pero en sentido opuesto, lo que provoca que el globo sea impulsado en esa dirección, como lo establece la tercera ley de Newton (acción=reacción). Si lográsemos reemplazar continuamente el aire que sale del interior del globo se pudiera mantener la aceleración y la fuerza producida por la misma.

Esta energía liberada por el globo y mantenida continuamente es la que podría vencer una carga, justificando así el funcionamiento de la turbina.

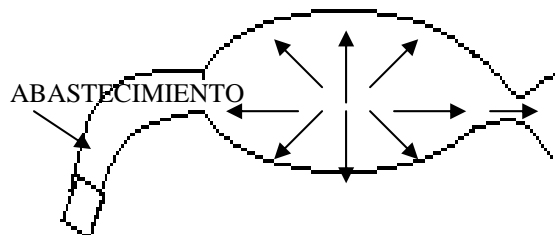


Figura 5. Globo con abastecimiento y pérdida de aire

ABASTECIMIENTO

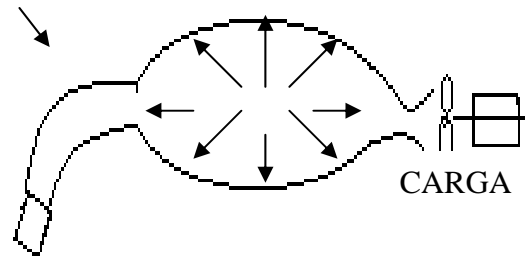


Figura 6. Globo con abastecimiento y movimiento de carga

Ahora ilustraremos una forma más práctica de lograr la movilización de una carga en la Fig.7. En realidad, lo que ilustramos es una forma mas práctica de mantener la fuerza para mover la carga. Un recinto contiene un volumen presurizado de aire el cual es comprimido por un compresor; la aceleración del aire comprimido mueve la turbina y ésta, a su vez, la carga.

Compresor

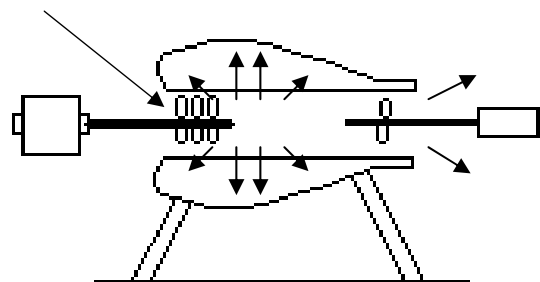


Figura 7. Forma esquemática de mantener la fuerza

Que sucede ahora si inyectamos combustible entre el compresor y la turbina (Fig. 8). Pues se adiciona aceleración a la masa de aire cuando éste se expande, multiplicando de este modo la fuerza que se usa para mover la carga.

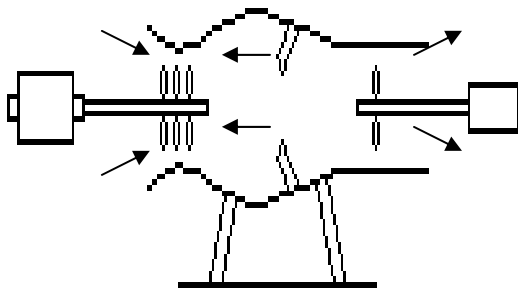


Figura 8. Expansión del aire

En la Fig. 9. observamos el motor eliminado, mientras que el compresor es accionado por una porción de la energía de los gases de la combustión logrando de esta manera que la máquina sea autosuficiente mientras dure el combustible.

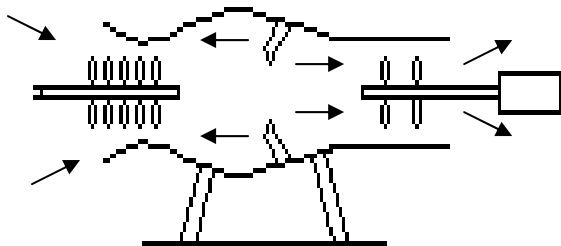


Figura 9. Autosuficiencia de la maquina lograda por los gases de combustión y la adición de combustible

Ya en la Fig. 10 observaremos un esquema típico pero fundamental de la operación de la turbina de gas donde el aire es recogido y comprimido; luego mezclado con combustible, y encendido o inflamado. Este gas caliente y presurizado es expandido a través de la turbina suministrando energía mecánica.

En una turbina de gas se presentan cuatro procesos que desde el punto de vista termodinámico son referentes al ciclo de Brayton.

El proceso en una turbina de gas puede referirse al ciclo de Brayton de la siguiente manera: compresión, combustión, expansión y escape.

La compresión se da entre la entrada y salida del aire del compresor (1-2). Aquí la temperatura y

presión del aire se incrementan en un proceso adiabático e isentrópico. Sucede después la combustión dentro del combustor, y para ello el combustible y el aire, en proporciones determinadas, son mezclados y quemados obteniéndose de este modo una adición de calor que causa un incremento en el volumen (2-3). Este proceso es isobárico, o de presión constante. Luego ocurre una expansión en la turbina que produce la aceleración de los gases calientes que vienen desde la cámara de combustión. Los gases que vienen con una presión y volumen constantes entran a la turbina y se expanden a través de ésta. El camino que siguen los gases también se incrementa permitiendo un aumento adicional en el volumen, y un decaimiento en la presión y temperatura (3-4). Este proceso es también adiabático e isentrópico. El escape, el cual ocurre a la salida de la maquina (4-5). Indica condiciones energéticas superiores a las del punto de entrada. Estas diferencias son consideradas como pérdidas del sistema.

COMPRESOR COMBUSTOR TURBINA

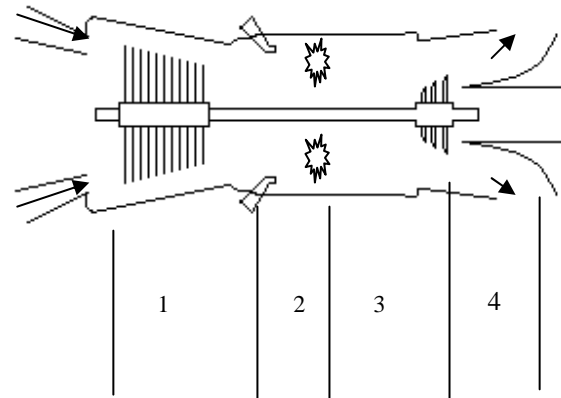


Figura 10. Procesos en una turbina a gas

Ya establecimos que el sistema turbina a gas lo conforman un compresor, una cámara de combustión, y la turbina propiamente dicha; esta última extrae energía suficiente para impulsar al compresor, y generar trabajo útil.

Los diversos tipos de turbinas se originan como una derivación producida por componentes adicionales a la entrada y a la salida del generador de gas, y también dependiendo del uso de la misma.

En base a estos componentes adicionales podríamos enlistar varios tipos de turbinas a gas tales como:

Turbina a gas Avco Lycomin T55-L-11
Turbina a gas Garret Airesearch IE990
Turbina a gas Pratt & Whitney JT3-FT4
Turbina General Electric CF6-80-C2
Turbina a gas General Electric LM2500
Turbina a gas General Electric LM5000
Turbina a gas General Electric LM6000, entre otras.

5. Conclusión

La demanda en el sector eléctrico nacional crece a un estimado de 180 MW. anualmente, según datos estadísticos del CENTRO NACIONAL DE CONTROL ENERGETICO. Algunos proyectos como Mazar podrá dotar de 140 MW. de potencia al país en el año 2009. Sin embargo la demanda se habrá incrementado en 300 MW. para esa fecha.

Un cálculo simple nos dice que para el 2013 necesitaremos 900 Mw. mas y hasta ahora los proyectos en desarrollo no van a satisfacer esa demanda.

Los costos de instalación y montaje para una central hidroeléctrica están entre los 1000 y 1200 dólares por Megavatio de capacidad instalada, para una central a vapor el costo va de 700 a 800 dólares por Megavatio de capacidad instalada, mientras que el costo de instalación de una central térmica a gas va de 500 a 600 dólares por Megavatio de capacidad instalada y considerando también que el tiempo de instalación y montaje de una central térmica a gas es de 3 a 6 meses, nos lleva a la reflexión de que el montar mas

centrales de este tipo será una alternativa de gran apoyo.

Muchos podrían decir que el costo de generación de una central a gas es alto pero haya que recordar que no hay energía más cara que la que no se tiene.

6. Agradecimiento

Al Ingeniero Rafael Drouet por su importante contribución en el desarrollo de este trabajo.

7. Referencias

- [1] Gunter Schneider, Motores Termicos, Volumen 9
- [2] José Intriago, La Turbina de Gas y su aplicación industrial, 1967
- [3] William W. B, Fundamentos de Turbinas, pp. 56-58.
- [4] Gas Turbine World Handbook Volumen 19, año 1998
- [5] Gas Turbine World Handbook Volumen 21, año 2000
- [6] Gas Turbine World Handbook Volumen 31, Mayo del 2001
- [7] Gas Turbine World Handbook Volumen 34, Octubre del 2004.