



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Facultad de ingeniería

**Desarrollo de propuestas técnicas para la mejora,
actualización y reemplazo de los sistemas de
turbinas de gas usadas para la generación de
electricidad a nivel global**

Empresa: AXIEM MEXICO

Modalidad de Titulación:
EXPERIENCIA PROFESIONAL

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

Presenta:

Carlos Alberto De La Mata Morales

Cuenta: 402049333

Asesor:

Dr. Francisco Solorio Ordáz

Febrero 2011

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por todo el amor y el apoyo que me han brindado desde el día en que nací.

A mis amigos, familiares y personas cercanas que de alguna u otra manera me han acompañado y brindado sus consejos, experiencia y cariño.

A mis asesores, por su orientación y consejos que hicieron posible la finalización de esta tesina.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y todos los profesores que me brindaron sus conocimientos a lo largo de mis estudios profesionales.

ÍNDICE

Introducción	4
Objetivo	4
Capítulo 1. Responsabilidades laborales del Ingeniero de Aplicaciones en Axiem México.	5
1.1 Axiem México. Misión, Visión y Objetivos.	5
1.2 Proyecto de Turbinas de Gas.	7
1.3 Ingeniería de Aplicaciones F Class.	10
Capítulo 2. Antecedentes y marco teórico de las turbinas de gas y su utilización en la generación de energía y de los problemas a solucionar.	15
2.1 Antecedentes generales de turbomaquinaria.	15
2.2 Turbinas de Gas y su aplicación en la generación de energía.	19
2.3 Aplicación de las turbinas de gas en la actualidad.	32
Capítulo 3. Descripción de los proyectos (generación de propuestas, estudio e investigación de las mejoras, determinación de la viabilidad, propuesta del sistema y partes convenientes).	36
3.1 Razones y necesidades de las actualizaciones y mejoras continuas en los sistemas de las turbinas.	36
3.2 Desarrollo de una propuesta técnica de actualización o mejora.	42
Capítulo 4. Caso práctico. Desarrollo de un caso concreto que haya realizado durante mi actividad profesional.	47
Capítulo 5. Análisis e interpretación de los resultados del trabajo del Ingeniero de Aplicaciones.	71
CONCLUSIONES.	80
BIBLIOGRAFÍA.	81

INTRODUCCIÓN

Axiem México es una empresa dedicada al outsourcing y consultoría en diversas áreas, incluyendo la ingeniería, con más de 13 años de experiencia trabajando con compañías trasnacionales tanto en México como en el extranjero. Como Ingeniero de Aplicaciones subcontratado por una empresa internacional dedicada, entre otras actividades, a la fabricación, distribución y mantenimiento de turbinas de gas para la producción de energía eléctrica, mi actividad principal consiste en la realización de la parte técnica de propuestas de actualizaciones que permitan mantener su competitividad en el mercado con mejoras continuas en las unidades ya instaladas y en funcionamiento.

OBJETIVO

Demostrar la experiencia y conocimientos adquiridos a través de tres años de trabajo profesional en la realización de propuestas técnicas para el mejoramiento constante de las turbinas de gas y reportar mi aportación y logros obtenidos durante este tiempo.

Capítulo 1. Responsabilidades laborales del Ingeniero de Aplicaciones en Axiem México.

1.1 Axiem México. Misión, Visión y Objetivos.

AXIEM MEXICO es una de las empresas más reconocidas internacionalmente en el área de servicios de Outsourcing¹ y consultoría desde 1997, enfocándose en proveer personal capacitado y sistemas probados que permitan a las empresas el desarrollo y crecimiento de sus actividades y su productividad sin perder calidad.

Misión.

Suministrar el personal necesario que complemente o apoye a las empresas en sus actividades y objetivos, ayudando en diversas áreas con empleados experimentados y capacitados en cada una de ellas, siempre con el objetivo de proporcionar una calidad mayor a la requerida y aportando constantemente ideas que permitan el mejoramiento continuo de los clientes.

Visión.

Ser la empresa líder en prestación de servicios de personal a las mejores compañías nacionales e internacionales, así como tener la capacidad de brindar sus servicios en las principales ciudades del mundo.

Objetivos.

Mantener siempre la calidad y usar la metodología más adecuada para cada cliente, de acuerdo a sus necesidades y requerimientos, ofreciendo siempre un trato personalizado.

AXIEM MEXICO se enfoca en prestar servicios que resuelvan las necesidades más importantes en la industria, tales como:

- Administración de Personal**
- Administración de Proyectos**

¹ El outsourcing es una modalidad según la cual determinadas organizaciones, grupos o personas ajenas a la compañía son contratadas para hacerse cargo de parte de las actividades o de un servicio puntual dentro de ella.

-Servicios de Ingeniería

-Optimización de Procesos

Apegándose a las normas de calidad de ISO 9001:2000² y utilizando las herramientas de Seis Sigma³, AXIEM MEXICO promueve un Programa de Mejora Continua de los Procesos entre los empleados, no solo promoviendo la integración entre ellos sino también reconociéndoles sus esfuerzos, ideas y compromisos de mejora con la empresa.

Este trabajo se enfoca en los servicios de ingeniería prestados por AXIEM MEXICO, los cuales incluyen:

Administración de Centros de Diseño.

- Administración de proyectos de ingeniería
- Modelado, Tolerancia y Dimensionamiento
- Análisis de tuberías
- Desarrollo de aplicaciones de software
- Ingeniería de Instrumentación
- Ingeniería de Requisición
- Diseño y dibujos a detalle
- Estudios de Integridad del conducto
- Desarrollo de listas de materiales
- Administración de documentos
- Análisis de tensión
- Curvas de funcionamiento
- Análisis de deterioro

Ingeniería de Instalaciones.

- Ingeniería básica
- Administración de proyectos
- Ingeniería de detalle

Ingeniería Industrial.

- Planeación de instalaciones
- Desarrollo de procesos
- Análisis de costos
- Ergonomía
- Calidad
- Planeación del sistema de materiales
- Estudios de tiempos y movimientos

² La familia de estándares del ISO 9000 representan un consenso internacional de las prácticas de la buena administración de la calidad. Consiste en estándares y guías relacionadas a los sistemas de la administración de la calidad y estándares de apoyo relacionados.

³ Seis Sigma (Six Sigma) es una metodología rigurosa y disciplinada que utiliza datos y análisis estadísticos para medir y mejorar el desempeño operacional de la empresa eliminando defectos y errores.

1.2 Proyecto de Turbinas de Gas.

Uno de los proyectos más grandes e importantes de AXIEM MEXICO, es el de Turbinas de Gas, proporcionado a General Electric Company © (GE), una de las compañías transnacionales más importantes e influyentes del mundo, que, entre muchos otros productos y enfoques empresariales, se dedican a al diseño, fabricación, distribución y mantenimiento de turbinas de gas utilizadas para generar energía eléctrica en muchas partes del mundo.

GE es una de las empresas líderes en la generación de electricidad utilizando diversos métodos, siendo el desarrollo de turbinas de gas uno de las más importantes y rentables. A través de GE Energy, ésta empresa tiene la más grande variedad de turbinas de gas, con un rango que va de los 25 a los 480 megawatts⁴ de potencia.

Tienen una flota instalada alrededor del mundo de más de 6000 turbinas, más que cualquier otra compañía distribuidora de turbinas de gas, estas unidades han acumulado más de 200 millones de horas de operación. Siempre a la vanguardia tecnológica, GE ofrece una amplia gama de opciones tecnológicas para hacer frente a los diversos retos que expone la generación de energía. Usando un sistema integral que incluye reemplazo de partes, servicio, reparación y administración de proyectos, GE ha podido mantenerse a la cabeza de la producción de turbinas de gas.

Debido a esto, GE tiene una gran necesidad de capital humano sin la cuál le sería imposible mantener la producción y distribución de las turbinas ni brindar el servicio adecuado a los cientos de clientes y las miles de turbinas en funcionamiento alrededor del mundo.

La administración de estos servicios es tan grande y compleja que el contratar empleados a través de outsourcing es una opción viable que facilita el manejo y la coordinación de la gente necesaria para mantenerlos funcionando.

Entre las muchas empresas que GE utiliza para subcontratar personal, AXIEM se ha mantenido por más de 10 años como una de las principales y más confiables, expandiendo constantemente el proyecto y adquiriendo mayores responsabilidades dentro de la empresa. AXIEM proporciona personal capacitado para las diferentes actividades del proyecto, divididas en distintos equipos de trabajo que se enfocan en un área en particular.

El Proyecto de Turbinas de Gas dentro de AXIEM consta de los siguientes equipos:

⁴ Megawatt.- Un watt es la unidad de potencia activa del Sistema Internacional de Unidades. Un megawatt equivale a 1000000 watts.

Equipo de Dibujos de Ingeniería.

Este equipo integrado por ingenieros y dibujantes se encarga de dibujar, corregir y modificar los esquemas, dibujos técnicos y diagramas de los componentes de las turbinas de GE, ya que necesitan una actualización y revisión constante. Debido a las continuas modificaciones que GE realiza para mantener y mejorar su calidad, es necesario un grupo de gente capacitada para manipular o crear los dibujos que se requieran en distintos proyectos y para lograr diferentes objetivos.

Este equipo se encarga también del modelado en 3D de las diferentes partes de las turbinas, utilizando para esto los más avanzados programas de CAD/CAM/CAE⁵, como Unigraphics® y Pro Engineer®. Estos poderosos programas computacionales permiten crear un modelo en tres dimensiones que permite ver como lucirá la pieza una vez manufacturada, ésta puede ser manipulada en tiempo real para observarla de todos sus ángulos, además de que permite, entre otras cosas, saber si la pieza, una vez fabricada, será susceptible a fallas térmicas o mecánicas a través del análisis de elemento finito⁶, así como saber si es posible manufacturar una pieza por alguna técnica determinada e incluso generar códigos de manufactura para centros de maquinado de control numérico⁷.

A su vez este equipo se subdivide en otros grupos, dependiendo a que segmento específico de la turbina se enfocarán:

COMBUSTION DFT.- Se enfocan en las partes del combustor de la turbina.

HGP DRAFTING.- Se enfocan en los componentes del ducto de gases calientes de la turbina.

COMPRESSOR DFT.- Se enfocan en los componentes del compresor de la turbina.

CODE/STANDAR DFT.- Se encargan de revisar y corregir los dibujos para que cumplan con los códigos y estándares internacionales.

Equipo de Ingeniería de Aplicaciones.

⁵ CAD.– Computer Aided Design (Diseño asistido por computadora)

CAM.– Computer Aided Manufacturing (Manufactura asistida por computadora)

CAE.– Computer Aided Engineering (Ingeniería asistida por computadora)

⁶ Análisis de elemento finito (AEF).- Es un método numérico para la solución de problemas de ingeniería comúnmente empleado para problemas complejos.

⁷ Máquinas de Control numérico.- es todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real.

Este equipo esta integrado por ingenieros y maestros en ingeniería en distintas áreas, siendo las principales la Mecánica, la Eléctrica y la Electrónica. Las funciones que realizan son muy variadas y dependerán de los equipos a los que pertenezcan. Este grupo brinda apoyo a los ingenieros de campo, las áreas comerciales, ventas, ingeniería e investigación.

Los grupos en los que se subdivide este equipo son los siguientes:

CC PERFORMANCE.- Se dedican al cálculo de la potencia que puede generar una turbina en particular, usando las condiciones particulares de esa turbina, que incluyen el clima y la altura donde se usa, tipo de combustible (gas natural, destilados líquidos, combustibles sólidos, etc.), años de servicio y mejoras realizadas en la turbina por mencionar algunas.

E-CLASS.- Se enfocan en hacer propuestas técnicas para mejoras, actualizaciones y reemplazos de los sistemas de las turbinas de la familia o clase E, éstas pueden ser en cualquier parte de la máquina, desde la entrada del aire hasta la salida de los gases.

F-CLASS.- Se enfocan en hacer propuestas técnicas para mejoras, actualizaciones y reemplazos de los sistemas de las turbinas de la familia o clase F, éstas pueden ser en cualquier parte de la máquina, desde la entrada del aire hasta la salida de los gases. Más adelante se explica este procedimiento de forma detallada.

IT SYSTEMS.- Se encargan de administrar, dar mantenimiento y resolver problemas relativos a las aplicaciones de sistemas computacionales de GE usados por los ingenieros.

LIFE CYCLE.- Su principal función es administrar y actualizar las principales bases de datos y herramientas informáticas que usan los ingenieros de aplicaciones.

Equipo de Ingeniería de Requisiciones.

Este equipo se compone de Ingenieros y Maestros en ingeniería, se encargan de verificar, dar seguimiento y resolver problemas de los proyectos vendidos de GE, los cuales pueden ser desde un grupo de partes necesarias para una actualización hasta una turbina nueva.

Debido a las necesidades del cliente, distintas partes y constantes modificaciones que tienen las turbinas, es complicado determinar que partes exactas se deben suministrar, cuales pueden ser sustituidas por otras, cuando las pueden proveer, cuantas hay en almacenamiento, que equipos deben estar involucrados en el montaje, etc. Un ingeniero de requisiciones se encarga de coordinar y administrar todo lo concerniente a la venta de partes, modificaciones y unidades completas,

desde que el cliente la pide hasta que la obtiene, así como las instrucciones para poder usar o instalar lo adquirido.

También existen, dentro del proyecto para GE, equipos que no forman parte del área de ingeniería de aplicaciones:

OIL & GAS.- Se enfocan en turbinas europeas de menor tamaño usadas en la generación de energía industrial.

STEAM TURBINES.- Se enfocan a las turbinas de vapor.

PARTS & REPAIRS SERVICES.- Se encargan de administrar y distribuir las partes de repuesto que los clientes necesitan para sus unidades en funcionamiento.

WIND TURBINES.- Se enfocan en las turbinas de viento.

1.3 Ingeniería de Aplicaciones F Class.

Durante los tres años de trabajo en AXIEM, he desempeñado el puesto de Ingeniero de Aplicaciones para el equipo F Class dentro del proyecto de turbinas de gas para GE Energy, que se enfoca en todas las turbinas de la familia o clase F.

GE Energy Services.

Energy Services es el la parte de GE Energy que se encarga del negocio de instalación, operación, optimización, actualizaciones, partes, servicios, reparaciones y rentas de equipo. Proporciona sus servicios a sectores diversos como empresas de servicio público, compañías industriales, plantas desalinizadoras, municipios y poblados que requieran electricidad autónoma, etc. Opera en varios puntos alrededor del mundo con base en Atlanta, Estados Unidos.

Turbinas de Gas Clase F.

Con sus millones de horas de operación, las turbinas de clase F han contribuido de manera muy significativa a posicionar a GE como un claro líder en la industria de las turbinas de gas de tecnología avanzada, representando la más grande y experimentada flota de turbinas de gas de alta eficiencia. Diseñadas para brindar la máxima fiabilidad y eficiencia con costos bajos de operación, ha sido la más usada para la generación de energía eléctrica de consumo poblacional y para la cogeneración en el ámbito industrial que requiere grandes cantidades de energía.

Introducida en 1987, las turbinas de clase F son el resultado de muchos años de investigación y desarrollo en los centros de tecnología avanzada de GE, que sigue desarrollando mejoras continuamente para adaptarse a las nuevas tecnologías y necesidades energéticas.

Todas las turbinas de clase F ofrecen una gran adaptabilidad en la configuración de los distintos ciclos, combustibles y espacios.

A grandes rasgos, todas las turbinas de la clase F constan de un compresor axial de 18 etapas, una turbina de 3 etapas y un enfriador/expulsor de los gases, siendo especialmente efectiva en los ciclos combinados donde las eficiencias pueden superar el 58%.

Las turbinas de la clase F se dividen en los modelos 6FA, 7FA, 9FA, 7FB y 9FB, con rangos que van, aproximadamente, de los 70 MW hasta los 412 MW. A continuación se describen brevemente:

Modelo 7FA.

- Se usa en la generación de electricidad, pudiendo ser configurada en ciclo simple, cogeneración, ciclo combinado y ciclo integrado de gasificación combinada, usando distintos tipos de combustible (el más común es gas natural, sin embargo también pueden usar combustibles líquidos atomizados o sólidos gasificados).
- Su confiabilidad es superior al 98%, proveyendo más días de operación y ciclos de vida útil a un bajo costo.
- Es líder en la reducción de gases contaminantes como el óxido de nitrógeno y el monóxido de carbono.
- Debido a la enorme cantidad de unidades en operación, GE continuamente desarrolla actualizaciones que mejoran la eficiencia térmica, la durabilidad y la cantidad de energía generada.

Características principales:

Ciclo Simple	60 Hz
Potencia	171.7 MW
Consumo térmico unitario	9,873 kJ/kWh
Relación de presión	16.0 : 1
Flujo másico	445 kg/sec
Velocidad de rotación de la turbina	3600 rpm
Temperatura de escape	601 °C

Ciclo Combinado	1 x 60 Hz	2 x 60 Hz
Potencia neta de la planta	262.6 MW	529.9 MW
Consumo térmico unitario	6,424 kJ/kWh	6,371 kJ/kWh
Eficiencia total de la planta	56 %	56.5 %

Características de las turbinas de vapor usadas en los ciclos combinados:

Modelo	Serie A	Serie D
Rango de potencia	85-150 MW	120–425 MW
Condiciones de vapor máximas	2400 psig/1050 °F/1050 °F	1920 psig/1050 °F/1050 °F
Arreglo	AP + MP/BP combinadas	AP/MP + BP de flujo doble combinadas
Diseños de BP (doble flujo para la serie D)	60 Hz: 1x20"/1x26"/1x33.5"/1x40" 50 Hz: 1x33.5"/1x42"/1x48"	60 Hz: 2x20"/2x26"/2x33.5"/2x40" 50 Hz: 2x26"/2x33.5"/2x42"/2x48"

AP = Alta presión, MP = Media presión, BP = Baja presión.

Modelo 9FA.

- Es una de las mejores opciones para ciclos combinados grandes.
- Es una versión a escala más grande de la 7FA, tiene más flexibilidad en el uso de combustibles (el más común es gas natural, sin embargo también pueden usar combustibles líquidos atomizados o sólidos gasificados) y mayor potencia.
- Su combustor es uno de los más limpios y eficientes.
- Se puede usar en ciclos combinados con una o dos turbinas de gas trabajando con una turbina de vapor, siendo esta última la opción más óptima.

Características principales:

Ciclo Simple	50 Hz
Potencia	255.6 MW
Consumo térmico unitario	9757 kJ/kWh
Relación de presión	17.0 : 1
Flujo másico	641 kg/sec
Velocidad de rotación de la turbina	3000 rpm
Temperatura de escape	602 °C

Ciclo Combinado	1 x 50 Hz	2 x 50 Hz
Potencia neta de la planta	390.8 MW	786.9 MW
Consumo térmico unitario	6350 kJ/kWh	6305 kJ/kWh
Eficiencia total de la planta	56.7%	57.1%

Características de las turbinas de vapor usadas en los ciclos combinados:

Modelo	Serie A	Serie D
Rango de potencia	85-150 MW	120–425 MW
Condiciones de vapor máximas	2400 psig/1050 °F/1050 °F	1920 psig/1050 °F/1050 °F
Arreglo	AP + MP/BP combinadas	AP/MP + BP de flujo doble combinadas
Diseños de BP (doble flujo para la serie D)	60 Hz: 1x20"/1x26"/1x33.5"/1x40" 50 Hz: 1x33.5"/1x42"/1x48"	60 Hz: 2x20"/2x26"/2x33.5"/2x40" 50 Hz: 2x26"/2x33.5"/2x42"/2x48"

AP = Alta presión, MP = Media presión, BP = Baja presión.

Modelo 6FA.

- Es una turbina de tamaño mediano de gran eficiencia diseñada para trabajar a 50 o 60 Hz.
- Con una gran versatilidad, se puede usar en ciclos simples o combinados para generación eléctrica o cogeneración industrial.
- Tiene un consumo bajo de combustible y puede ser usada en interiores o exteriores.
- Es dos tercios el tamaño de una 7FA.

Características principales:

Ciclo Simple	50 Hz
Potencia	77.1 MW
Consumo térmico unitario	10170 kJ/kWh
Relación de presión	15.8 : 1
Flujo másico	212 kg/sec
Velocidad de rotación de la turbina	5231 rpm
Temperatura de escape	603 °C

Ciclo Combinado	1	2
Potencia neta de la planta	118.4 MW	239.4 MW
Eficiencia total de la planta	55%	55.6%

Características de las turbinas de vapor usadas en los ciclos combinados:

Rango de potencia	Más de 250 MW
Condiciones de vapor	Más de 1800 psig/1000 °F
Arreglo	AP/BP combinadas, conducción trasera o frontal
Diseños de BP condensados	60 Hz: 1x17.5"/1x20"/1x23"/1x26"/1x30"/1x33.5" 50 Hz: 1x17.5"/1x26"/1x33.5"/1x42"

AP = Alta presión, MP = Media presión, BP = Baja presión.

Modelos 7FB y 9FB.

- La tecnología FB es la más reciente evolución de la serie F de GE. Logra una mejora significativa en la potencia y eficiencia, además de utilizar nuevos materiales.
- Su diseño está pensado para su utilización en ciclos combinados grandes que proveen un alto desempeño y electricidad a bajo costo.
- La tecnología FB incrementa la temperatura de combustión más de 100 °F que las anteriores, resultando en una mejora de más del 1% en la eficiencia y más del 5% en la potencia.

Características principales:

Ciclo Combinado	1 x 50 Hz	2 x 50 Hz	1 x 60 Hz	2 x 60 Hz
Potencia neta de la planta	412.9 MW	825.4 MW	280.3 MW	562.5 MW
Consumo térmico	6,202 kJ/kWh	6,206 kJ/kWh	6,276 kJ/kWh	6,266 kJ/kWh

unitario				
Eficiencia total de la planta	58.0%	58.0%	57.3%	57.5%

Características de las turbinas de vapor usadas en los ciclos combinados:

Modelo	Serie A	Serie D
Rango de potencia	85-150 MW	120-425 MW
Condiciones de vapor máximas	2400 psig/1050 °F/1050 °F	1920 psig/1050 °F/1050 °F
Arreglo	AP + MP/BP combinadas	AP/MP + BP de flujo doble combinadas
Diseños de BP (doble flujo para la serie D)	60 Hz: 1x20"/1x26"/1x33.5"/1x40" 50 Hz: 1x33.5"/1x42"/1x48"	60 Hz: 2x20"/2x26"/2x33.5"/2x40" 50 Hz: 2x26"/2x33.5"/2x42"/2x48"

AP = Alta presión, MP = Media presión, BP = Baja presión.

Los datos de los recuperadores de calor, si bien son importantes, no se incluyen ya que existe una gran variedad de empresas que los manufacturan y dependerán de las necesidades y elección del cliente.

Ingeniero de Aplicaciones Equipo F Class.

El grupo de ingenieros de aplicaciones de la clase F trabaja con los clientes de GE que cuentan con alguna turbina de la familia F y con su equipo comercial, para proveer soluciones a las necesidades que los clientes tienen de mejorar potencia, emisiones, fiabilidad y funcionalidad.

El principal papel del Ingeniero de Aplicaciones es ser el enlace entre los grupos de ingeniería de diseño/desarrollo y los clientes, con el fin de proveer tecnología de GE a través de actualizaciones y mejoras para las unidades en funcionamiento.

Las principales responsabilidades del Ingeniero de Aplicaciones son:

1. Proveer soporte técnico a los grupos de ventas, grupos contractuales, grupos de partes reconstruidas y grupos ajenos a GE sobre los paquetes y partes ofrecidas.
2. Apoyar el desarrollo e introducción de todas las iniciativas de nuevos productos.
3. Desarrollar los documentos técnicos estandarizados para las mejoras ofrecidas, así como mantener estos documentos actualizados con todos los cambios de diseño.

Capítulo 2. Antecedentes y marco teórico de las turbinas de gas y su utilización en la generación de energía.

2.1 Antecedentes Generales de Turbomaquinaria

Definición de Turbomáquina

Una turbomáquina es un dispositivo donde la energía mecánica, producida por el trabajo de un eje, es transferida desde o hacia un fluido con un flujo continuo por la acción dinámica de álabes rotatorios en línea.

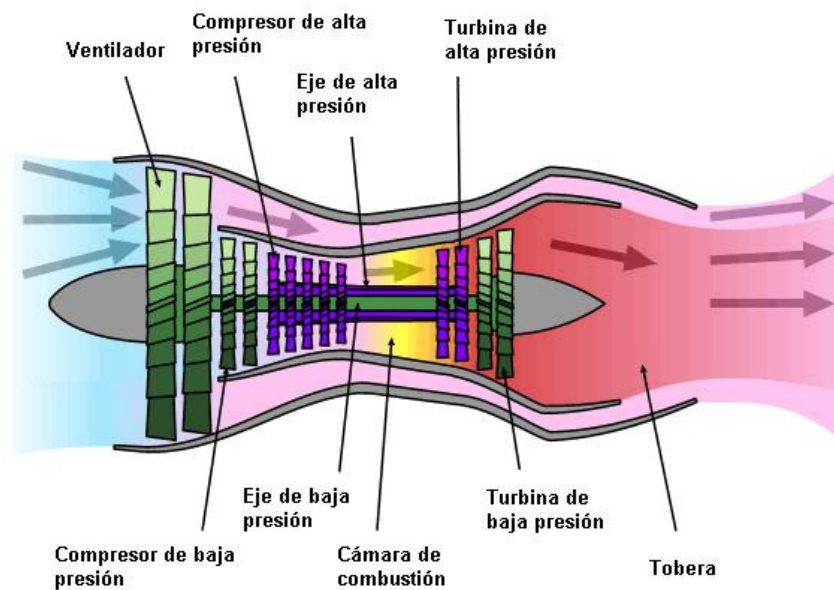


Figura 2.1. Ejemplo de turbomáquina, funcionamiento de un Turbofán.

Clasificación general de las turbomáquinas:

1) Por su función:

- Turbomáquinas que absorben el trabajo: como los compresores o los ventiladores.
- Turbomáquinas que producen el trabajo: como las turbinas

2) Por la naturaleza del medio de trabajo:

- Turbomáquinas de flujo compresible: cuando el fluido entrante es totalmente aire, como en ventiladores y compresores, o son productos de la combustión, como en las turbinas de gas.
- Turbomáquinas de flujo incompresible: cuando el fluido es agua (bombas hidráulicas) o cualquier sustancia en forma líquida

3) Por el tipo del paso del flujo:

Usando como referencia una forma cilíndrica, la proyección de una turbomáquina en el plano axial-radial ($z-r$) es llamada la vista meridional o paso del flujo meridional. Como se muestra en la figura 2.2 y 2.3, solo la proyección meridional de los álabes rotatorios es relevante en esta clasificación. Mientras el paso del flujo en el rotor permanezca paralelo al eje de rotación, se dice que el ensamble del difusor y el rotor, llamado etapa, es de flujo axial. En cambio, si el paso del flujo meridional cambia de axial a radial o viceversa, se dice que la etapa es un compresor centrífugo o una turbina radial.

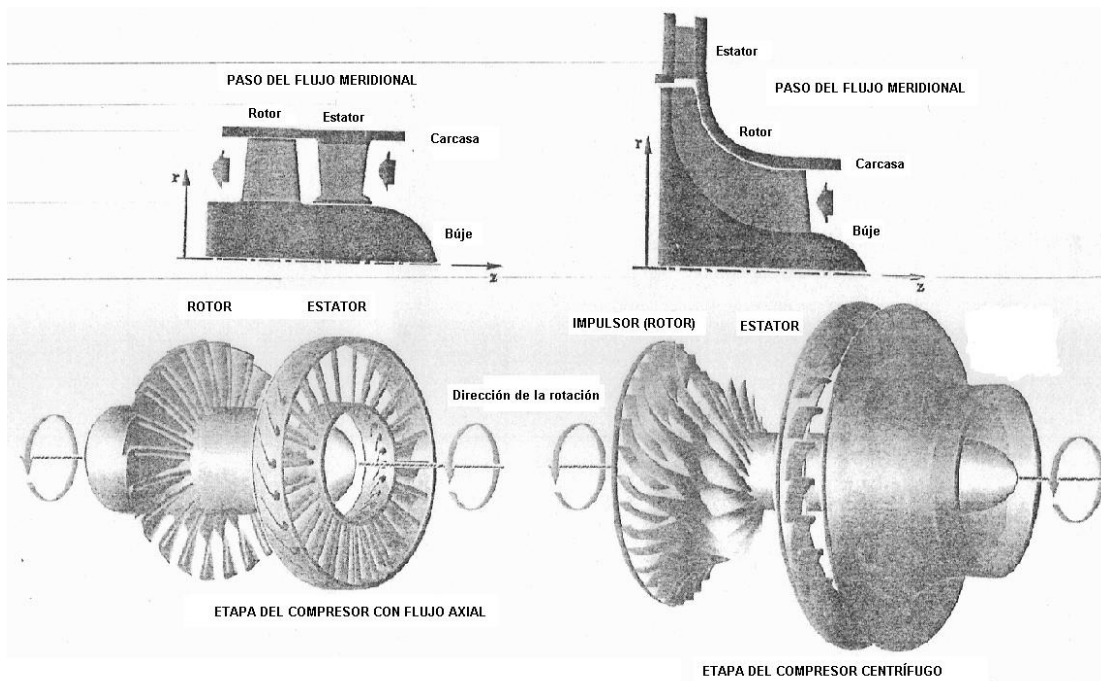


Figura 2.2. Proyecciones meridionales de las etapas de un compresor axial y uno centrífugo.

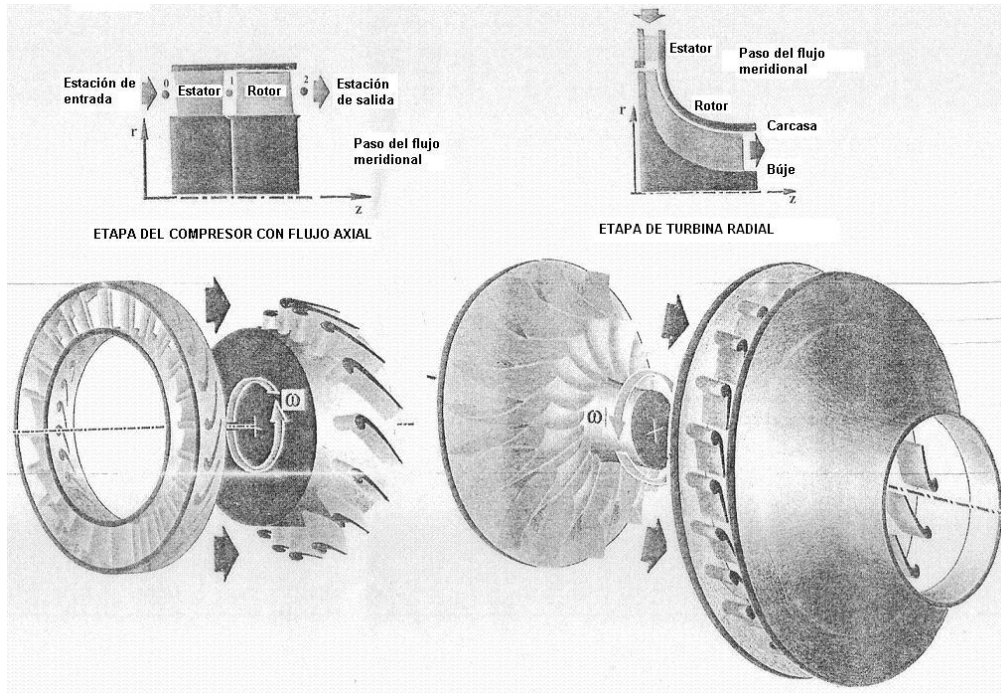


Figura 2.3. Proyecciones meridionales de las etapas de una turbina axial y una radial.

En esta clasificación existe una subfamilia de turbomáquinas intermedia entre los dos extremos (axial y radial). Son llamadas Turbomáquinas de Flujo Mixto. Como se observa en la figura 2.4, la proyección meridional del rotor no muestra la existencia de segmentos radiales ni axiales.

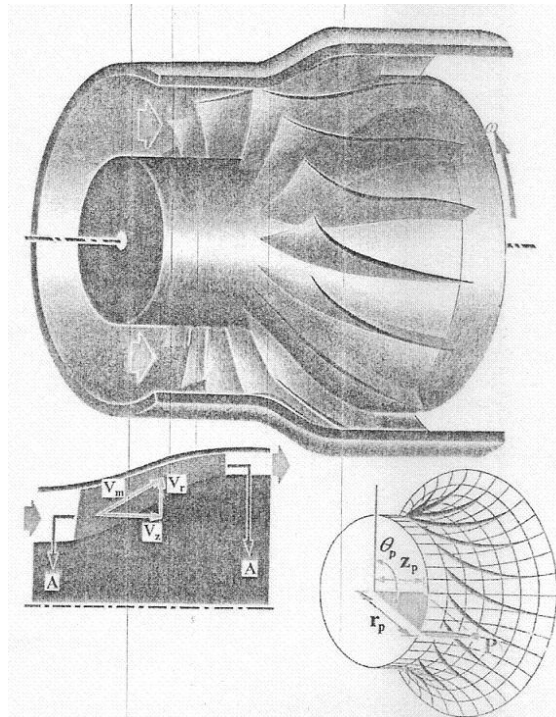


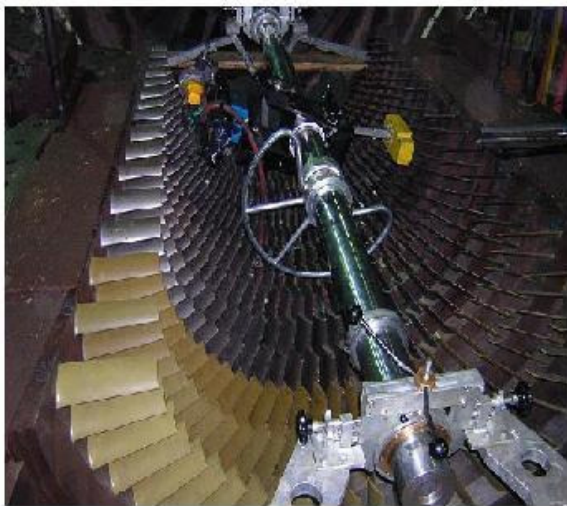
Figura 2.4. Compresor de flujo mixto y la referencia del sistema cilíndrico.

Definición de Etapa

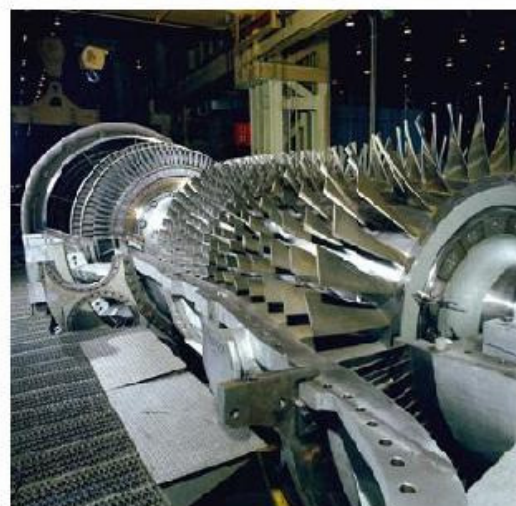
Las etapas de una turbomáquina están compuestas de una serie de alabes estacionarios, denominados difusor, seguidas de un alabe rotatorio, llamado rotor. Es en ésta área por donde pasa el flujo de gases o líquidos.

Ningún trabajo desde el fluido al eje o viceversa ocurre en el difusor, sin embargo si existe una conversión de energía termodinámica (llamada entalpía) a energía cinética en el caso de una turbina o viceversa en el caso de un compresor. Esta transferencia de energía se efectúa principalmente en el paso de alabe a alabe. Es común también que una aceleración o desaceleración adicional del fluido ocurra por la divergencia o convergencia de las paredes de la carcasa. Excepto por pérdidas relativamente menores en la temperatura total (por sistemas de enfriamiento por ejemplo) y en la presión total (por fricción y otros elementos), las propiedades del fluido (entalpía, temperatura, presión y velocidad por mencionar las más significativas) se pueden considerar siempre constantes. En este caso la aceleración del fluido crea lo que se define como "Gradiente de Presión Favorable" en la que las pérdidas de presión son comparativamente bajas.

El trabajo es producido o consumido solo a través del rotor de la etapa, resultando en un cambio substancialmente total de la entalpía. Al conocer el flujo másico y la cinemática del flujo asociada al rotor, es posible calcular el torque ejercido en el eje.



a)



b)

Figura 2.5. Los alabes de tobera en la carcasa con el eje expuesto (a) y alabes del rotor de un compresor de turbina (b). Cada alabe con su correspondiente tobera forma una etapa.

2.2 Turbinas de Gas y su aplicación en la generación de energía eléctrica.

Turbina de Gas

Una turbina de gas es una máquina diseñada para convertir o transformar la energía térmica de un combustible en energía mecánica a través de un eje o de empuje en el caso de una turbina de avión.

Entre distintas formas de producir energía, las turbinas de gas cuentan con características que las hacen de las más eficientes, como la ausencia de componentes en exceso oscilatorios o friccionantes (que reducen problemas de vibraciones y balanceos), tienen menos necesidades de lubricación y su peso y tamaño la hacen viable para los sistemas de propulsión.

Este trabajo se enfocará en las turbinas estacionarias que producen energía mecánica y, a su vez, se usan para generar electricidad.

A grandes rasgos, estas máquinas se componen de un compresor, una cámara de combustión (o combustor) y la sección de la turbina, llamada así, de manera más específica, donde se hace el intercambio de energía entre el flujo de gases calientes y el eje.

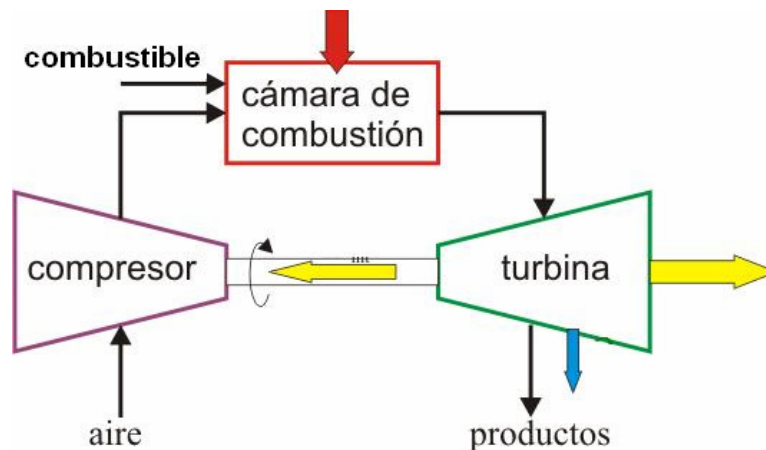


Figura 2.6. Esquema de los componentes de una turbina de gas

Conceptos clave de la teoría de operación

En concordancia con el enfoque de este trabajo, los conceptos, referencias e información de este trabajo estarán relacionados con las turbinas de la clase F de GE.

Para entender mejor la operación de la turbinas de gas, a continuación se explicarán algunos conceptos utilizados en su diseño.

ISO. International Standars Organization⁸

Debido a que las condiciones en las que puede operar una turbina dependerán del lugar, la estación, la altitud y otros factores, la ISO ha establecido estándares específicos ambientales como referencia de diseño:

- 59° F (15 °C)
- 14.7 psi (101341.8 Pa)
- 60% Humedad Relativa

Temperatura de quemado

Se le llama temperatura de quemado a la temperatura más alta que pueden tener los gases calientes cuando el trabajo (como medida de energía) es extraído. GE la define como al temperatura en la entrada de la tobera de la primera etapa.

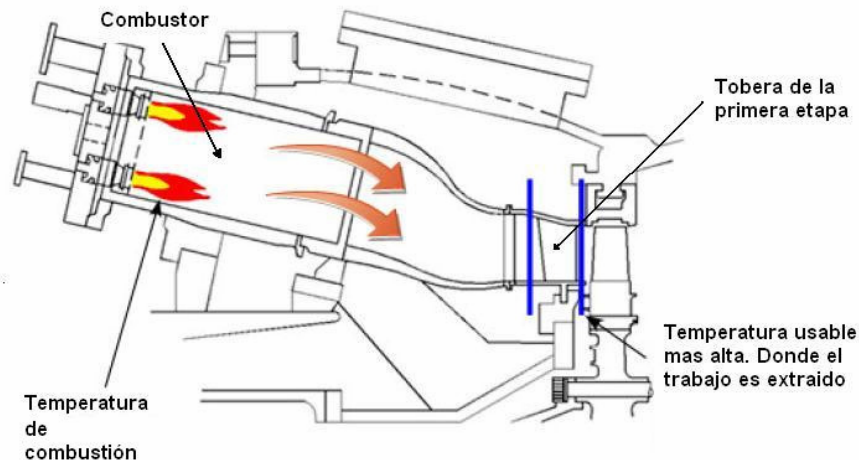


Figura 2.7. Esquema del combustor, donde se genera la combustión de la mezcla de aire con el combustible, produciendo los gases en expansión que entran en la primera etapa de la turbina.

Índice de compresión.

El índice de presión varía de acuerdo con las condiciones de entrada del aire a la turbina y es monitoreada como un parámetro de la evolución del rendimiento. El índice de presión se define como la presión absoluta de descarga en el compresor dividida entre la presión absoluta de entrada en el compresor. La presión absoluta es la presión medida mas 101341.8 Pa.

$$IP = \frac{P_d + 101341.8}{P_e + 101341.8} [Pa]$$

⁸ Organización de Estándares Internacionales

donde:

IP = Índice de presión

P_d = Presión absoluta de descarga del compresor

P_e = Presión absoluta de entrada del compresor

Consumo térmico

El índice calórico es la cantidad de energía calorífica en BTUs⁹ de combustible requerido para producir un kw-hr.

$$\text{Consumo térmico} = \text{BTUs} / \text{kw-hr}$$

El consumo térmico es inversamente proporcional a la eficiencia, esto significa que entre más grande sea el índice calórico, menor será la eficiencia.

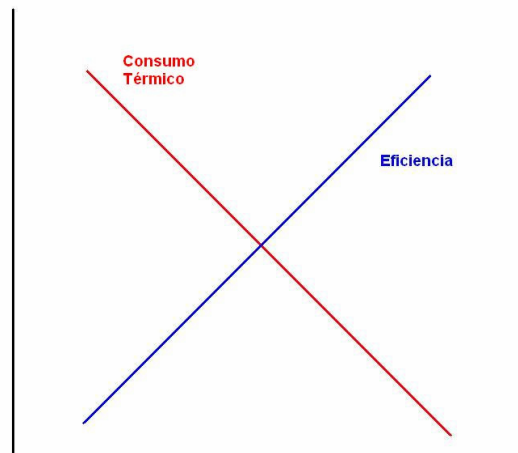


Figura 2.8. Representación de gráfica de la relación entre índice calórico y eficiencia.

Índice del compresor

Este índice es un parámetro de diseño establecido y es obtenida de la construcción física del compresor (el número de etapas, la forma de los alabes y toberas, el tipo de compresor, por mencionar algunas). Este índice cambia solo si el compresor está dañado o modificado, aunque el índice solo es completamente exacto cuando el compresor está limpio, nuevo y trabajando bajo las condiciones ISO.

⁹ BTU.- British Thermal Unit, es equivalente a 252.2 calorías o 1055 Joules.

Principios termodinámicos y operación de la turbina de gas.

Se le llama ciclo simple a una turbina operando sola y soltando los gases del escape a la atmósfera.

El ciclo empieza cuando el aire tomado del medio ambiente se comprime en el compresor a alta presión, este trabajo aumenta su energía y eleva su temperatura.

Posteriormente el aire entra en la cámara de combustión donde se inyecta el combustible y se mezclan para iniciar la combustión por medio de una bujía.

El flujo de gases calientes pasa entonces a la turbina, donde la energía térmica se transforma en dos pasos. El primero paso inicia al pasar por la tobera donde los gases se expanden, transformando parte de su energía térmica en energía cinética. En el segundo paso, los gases de alta velocidad ceden su energía a los alabes rotatorios, convirtiendo parte de esta energía cinética en energía de rotación del rotor. Es importante mencionar que aproximadamente el 50% de este trabajo se usa para mover el compresor axial y continuar el ciclo.

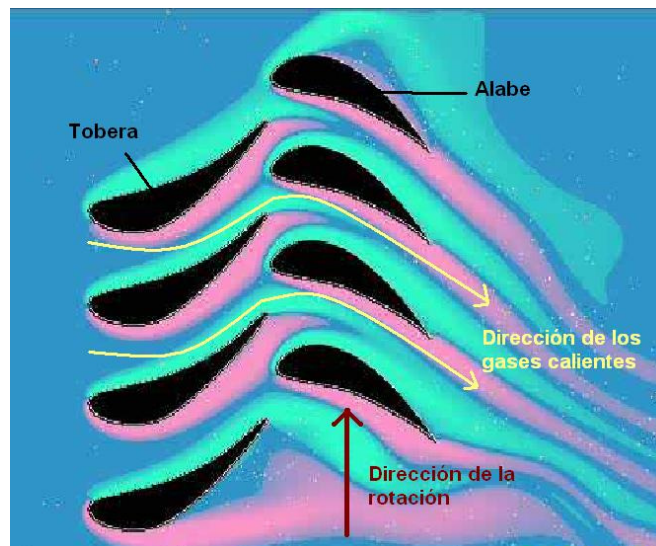


Figura 2.9. Esquema transversal del paso de los gases a través de la turbina.

En las turbinas de gas de ciclo simple la combustión y el escape ocurren a una presión constante y la compresión y expansión ocurren de manera continua.

Refiriéndonos a las imágenes 2.10 y 2.11:

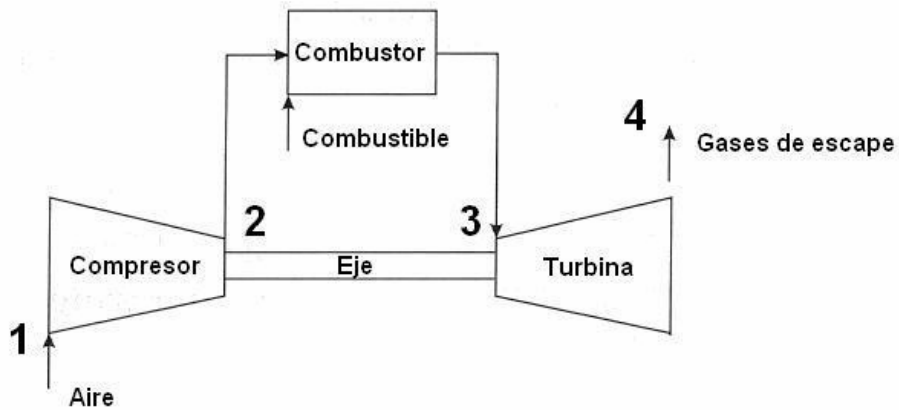


Figura 2.10. Esquema que ejemplifica las etapas del ciclo de la turbina:

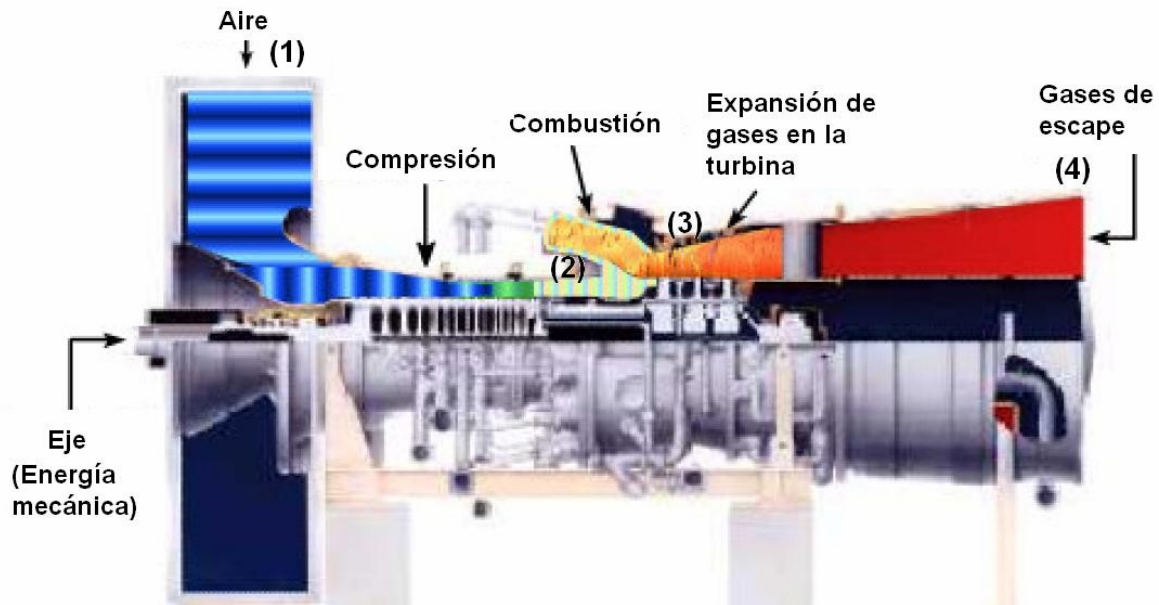


Figura 2.11. Imagen del ciclo de una turbina.

1. El aire entra al compresor y es comprimido.
2. Este aire de alta presión es mezclado con el combustible en el combustor y es encendido.
3. El producto de esta combustión continua entra a la turbina, donde se expande y se enfría, produciendo trabajo en el eje rotatorio.
4. Los gases son expelidos a la atmósfera con una presión baja (arriba de la atmosférica).

Ciclo Brayton

El funcionamiento de una turbina es cíclico abierto -recordemos que un ciclo se puede definir como un conjunto de una serie de operaciones que se repiten ordenadamente-, esto nos dice que una vez iniciado el ciclo, éste se mantendrá mientras se tengan las condiciones adecuadas.

El ciclo de Brayton se puede considerar ideal (sin considerar pérdidas de energía secundarias) o real (considerando éstas pérdidas). Para facilitar la comprensión, explicaremos el ideal.

La turbina de gas funciona tomando como referencia el ciclo básico de Brayton, el cuál consta de las siguientes etapas:

- 1-2 Compresión adiabática¹⁰ reversible. Se realiza en el compresor.
- 2-3 Combustión o ignición a presión constante. Se realiza en el combustor.
- 3-4 Expansión adiabática reversible. Se realiza en la turbina.
- 4-1 Cesión de calor a presión constante. Se realiza en la atmósfera.

Estas etapas son las que previamente describimos en la turbina y se pueden representar en las siguientes gráficas:

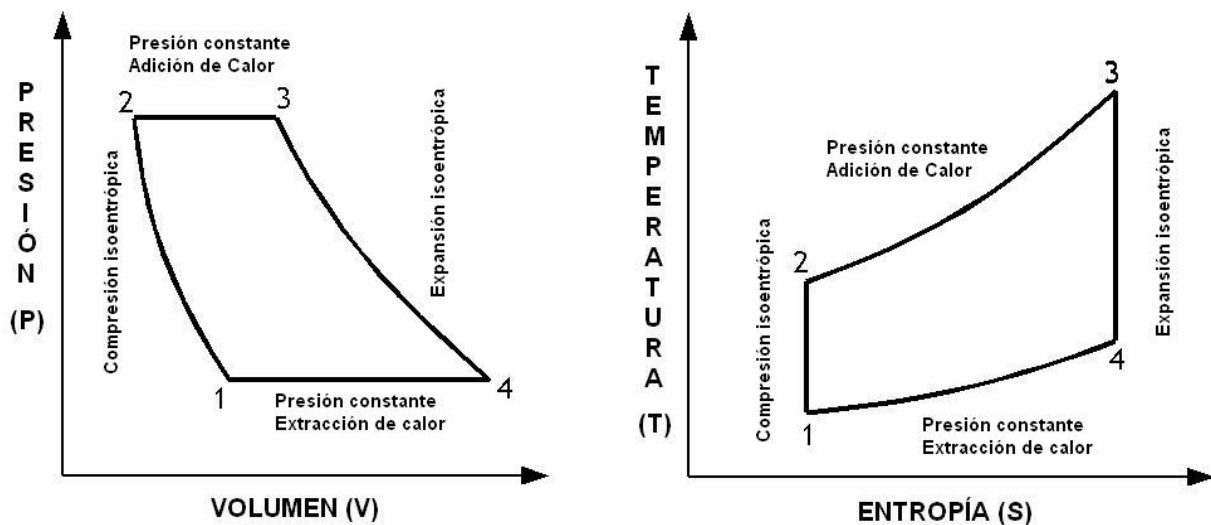


Figura 2.12. Representación gráfica del Ciclo de Brayton, que es con el que funcionan las turbinas de gas.

Las turbinas pueden trabajar a ciclo abierto (sin ningún sistema adicional) o cerrado (con sistemas adicionales como recuperadores de calor). En el primero la extracción del calor se representa por el gas de descarga después de su expansión en la turbina. En el segundo parte de este calor es recuperado por un intercambiador de calor.

¹⁰ Adiabática.- Se dice de la transformación termodinámica que un sistema experimenta sin que haya intercambio de calor con otros sistemas.

En el ciclo ideal el trabajo de salida de la turbina se puede calcular sustrayendo la energía de compresión a la energía de expansión en la turbina (es importante mencionar que el concepto de ciclo aplica para el fluido de trabajo):

$$W_{eje} = W_{tur} - W_{comp}$$

Donde:

W_{eje} = Trabajo de salida en el eje (J).

W_{tur} = Trabajo en la turbina (J).

W_{comp} = Trabajo en el compresor (J).

Eficiencia Térmica

La eficiencia térmica o simplemente eficiencia -representada como un porcentaje-, es la cualidad que tiene la máquina en transformar la energía. Expresa que tanta de la energía térmica de entrada es convertida en trabajo en el eje. La energía térmica es representada por el índice de calor que se produce durante la combustión.

$$\eta_t = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{P_{eje}}{(m_{comb})(LHV)} = \frac{E_{útil}}{E_{sum}}$$

Donde:

η_t = Eficiencia Térmica (%)

P = Potencia Mecánica (W)

m_{comb} = flujo másico del combustible (kg/s)

LHV = Referencia del poder calorífico interior del combustible (J/kg)

E = Energía

Sin embargo, el Ciclo de Brayton nunca es ideal, en las turbinas de gas el compresor y la turbina son afectados por incrementos de su entropía¹¹, esto significa que la eficiencia será menor del 100%. Normalmente el trabajo y la eficiencia se reducen debido a que la compresión requiere más energía y la expansión en la turbina genera menos energía.

Las turbinas también son afectadas por pérdidas de presión a lo largo del paso de los gases, desde el compresor, pasando por la turbina y hasta la salida de los gases. Estas pérdidas también son responsables de la reducción del trabajo de salida y la eficiencia.

¹¹ Entropía.- Función termodinámica que es una medida de la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema o materia. También se puede definir como el grado de desorden en un proceso.

El material de los alabes puede resistir esfuerzos centrífugos para temperaturas de quemado de alrededor de los 1000 °C. Mayores temperaturas de quemado producen un mejor desempeño en las turbinas, aunque para esto se necesitan materiales especiales y más costosos. También es importante conocer que parte del aire comprimido es extraído para el enfriamiento de los componentes del ducto de gases calientes (alabes, toberas, rodetes, etc.), que es de alrededor del 20 al 25%.

Todos estos factores ocasionan que el ciclo de Brayton no pueda considerarse ideal, entonces el ciclo real queda como se aprecia en la figura 2.13.

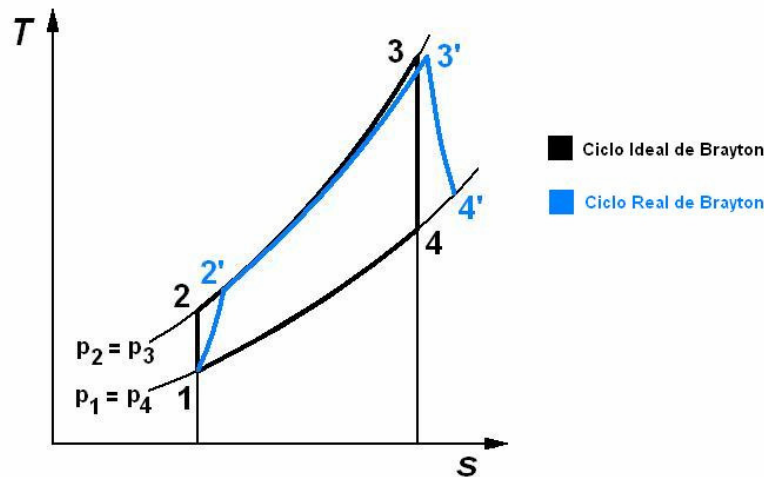


Figura 2.13. Comparación gráfica de los Ciclos de Brayton

Sin embargo, y con el fin de aprovechar al máximo la energía utilizable, se han hecho modificaciones al Ciclo básico de Brayton que se explican a continuación.

Ciclo Brayton con recuperador.

La temperatura de los gases de escape que salen de la turbina suelen ser considerablemente mayor de la del aire que sale del compresor. Mediante un intercambiador de calor a contraflujo, también conocido como regenerador o recuperador, el aire a alta presión que sale del compresor se puede calentar transfiriéndole calor desde los gases de escape calientes. Esto a su vez disminuye los requerimientos de entrada de calor y, por lo tanto, de combustible para obtener la misma salida de trabajo neto, traducándose en un incremento de la eficiencia térmica.

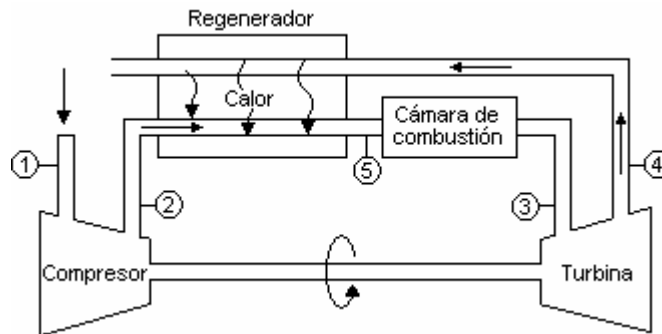


Figura 2.14. Esquema de los componentes en un Ciclo con regeneración.

Ciclo Brayton con interenfriamiento, recalentamiento y regeneración.

Si recordamos que el trabajo neto de un ciclo de turbina de gas es la diferencia entre el trabajo de la turbina y la entrada de trabajo del compresor, éste puede incrementarse si reduce el trabajo del compresor o se aumenta el de la turbina. El trabajo requerido para comprimir un gas entre dos presiones específicas puede disminuirse al efectuar el proceso de compresión en etapas y al enfriar el gas entre éstas, es decir, usando compresión de etapas múltiples con interenfriamiento. De igual modo, la salida de trabajo de una turbina que opera entre dos niveles de presión aumenta al expandir el gas en etapas y recalentarlo entre éstas, es decir, se utiliza expansión de múltiples etapas con recalentamiento.

Lo anterior se basa en el principio de que el trabajo de compresión o expansión de un flujo estable es proporcional al volumen específico del fluido, por lo tanto, el volumen específico del fluido de trabajo debe ser lo más bajo posible durante un proceso de compresión y lo más alto posible durante un proceso de expansión. Esto es lo que logran el interenfriamiento y el recalentamiento.

La relación del trabajo de retroceso de una turbina de gas mejora debido al interenfriamiento y al recalentamiento. Sin embargo, esto no significa que la eficiencia térmica también mejorará. Esto se debe a que el interenfriamiento disminuye la temperatura promedio a la cuál se añade calor, y el recalentamiento aumenta la temperatura promedio a la cuál el calor se rechaza. Es por esto que, el enfriamiento y el recalentamiento siempre deben de ir acompañados de la regeneración para que sean eficientes y mejoren el rendimiento de la central eléctrica.

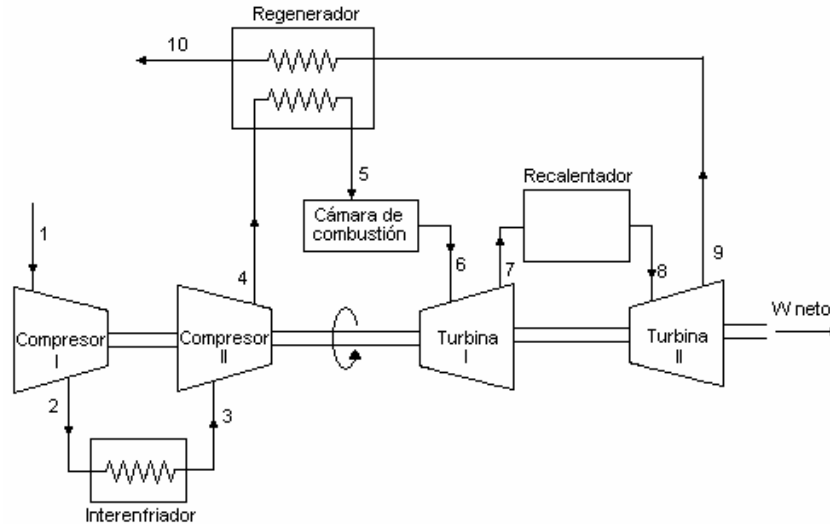


Figura 2.15. Esquema de los componentes en un Ciclo con interenfriamiento, recalentamiento y regeneración.

Ciclo combinado

El ciclo combinado de gas y vapor o simplemente ciclo combinado, es una modificación que incluye un ciclo de potencia de gas (Brayton) y remata con un ciclo de potencia de vapor (Rankine). Ésta tiene una eficiencia térmica más alta que cualquiera de los ciclos ejecutados individualmente.

Los ciclos de turbinas de gas funcionan a temperaturas considerablemente más altas (alrededor de los 1425 °C) que los de turbinas de vapor en la temperatura máxima del fluido a la entrada de la turbina (alrededor de los 620 °C). Debido a la temperatura promedio más alta a la cuál se suministra el calor, los ciclos de gas tienen un mayor potencial para lograr mayores eficiencias, sin embargo, estos ciclos tienen una desventaja inherente: el gas sale de la turbina a temperaturas muy altas (por lo regular arriba de los 500 °C), lo que cancela cualquier ganancia potencial en la eficiencia térmica.

No obstante, estos gases a alta temperatura se pueden usar como fuente de energía en un ciclo distinto como el de la turbina de vapor, dando como resultado el ciclo combinado. En este ciclo la energía es recuperada de los gases de escape y se transfiere al vapor en un intercambiador de calor, llamado recuperador de calor, además la energía para el recalentamiento puede ser suministrada añadiendo combustible a los gases de escape ricos en oxígeno.

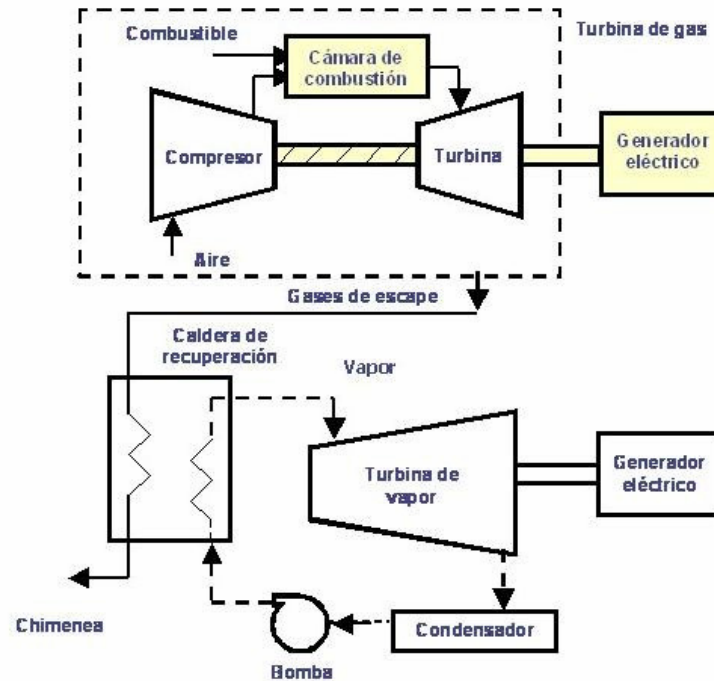


Figura 2.16. Esquema de los componentes de un ciclo combinado.

Cogeneración

Debido a la segunda ley de la termodinámica¹², en todos los procesos es necesario perder una gran cantidad de calor para producir trabajo. Existen también otros sistemas o dispositivos que requieren la entrada de energía en forma de calor, también denominado calor de proceso.

Es común que las industrias que utilizan grandes cantidades de calor de proceso también consuman mucha energía eléctrica, por consiguiente es mucho más económico utilizar el potencial de trabajo ya existente en el calor residual para producir energía en lugar de permitir que se desperdicie.

El resultado es una central que produce electricidad mientras cubre los requerimientos de calor de proceso de otros procesos industriales, éstas son llamadas centrales de cogeneración.

La cogeneración es la producción de más de una forma útil de energía (como calor de proceso y energía eléctrica) a partir de la misma fuente de energía.

¹² Existe para cada sistema termodinámico en equilibrio una propiedad escalar extensiva llamada *entropía*, S , tal que en un cambio de estado reversible infinitesimal del sistema, $ds=dQ/T$, donde T es la temperatura absoluta y dQ es la cantidad de calor recibida por el sistema. La entropía de un sistema aislado térmicamente no puede disminuir y la entropía es constante si y solamente si todos los procesos son reversibles.

Un ciclo Brayton o un ciclo combinado pueden ser utilizados perfectamente como ciclos de potencia en una central de cogeneración.

Generación de energía eléctrica.

Como se mencionó anteriormente, el trabajo rotatorio a través de un eje producido por la turbina es, a su vez, transformado por un generador en energía eléctrica.

En su forma más simple, un generador eléctrico conectado a una turbina son suficientes para generar electricidad utilizable para el consumo humano.

Un generador eléctrico mantiene una diferencia de potencial entre dos puntos llamados polos. De acuerdo a la Ley de Faraday, al hacer girar una espira dentro de un campo magnético, se produce una variación del flujo de dicho campo a través de la espira y se genera una corriente eléctrica (fuerza electromotriz inducida o fem inducida).

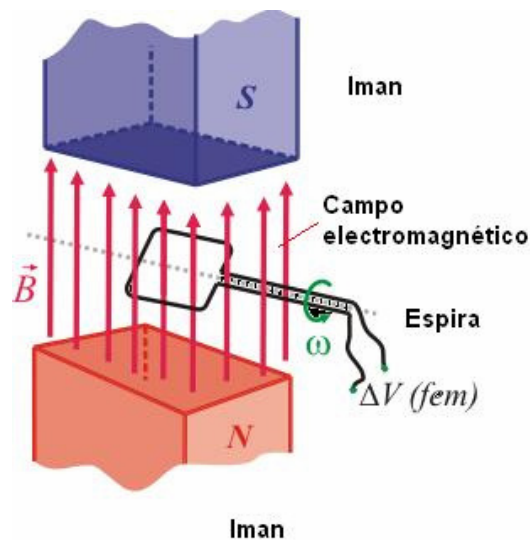


Figura 2.17. Esquema básico de un generador de energía eléctrica.

Generación y distribución.

Una planta eléctrica es un generador o conjunto de generadores que producen la energía eléctrica necesaria para las necesidades humanas, como pueden ser la iluminación de casas o el funcionamiento de maquinaria en la industria.

Además de los generadores que pueden ser activados con turbinas de gas y vapor, llamadas plantas termoeléctricas, éstos también pueden funcionar con la energía potencial del agua en las presas (hidroeléctricas), con energía nuclear (nucleoeléctricas) y, en menor medida ya que su capacidad de generación es baja, las que funcionan con viento (eólicas), con el calor de la tierra (geotérmicas) y con la fuerza de las mareas (maremotrices), por mencionar las principales.

No importa que tipo de planta sea, comúnmente generan una corriente alterna trifásica de más de 480 volts¹³.

En una fase el flujo de energía se transmite en una onda sinusoidal que oscila entre -480 V y 480 V de voltaje efectivo a 60 ciclos por segundo. Se llama trifásica ya que la planta produce tres fases de manera simultánea y desfasadas 120 grados entre ellas, esto asegura que durante todo momento una de las tres fases está en el pico del voltaje.

Estos voltajes trifásicos que dejan los generadores entran a un transformador y luego a una subestación de transmisión, que usa transformadores para convertirlos en voltajes enormes capaces de viajar grandes distancias a través de la red de transmisión, que está formada por gruesos cables y grandes torres de metálicas. En México estos voltajes están entre los 110 KV y los 480 KV y recorren distancias de alrededor de 480 kilómetros.

La energía deja la red de transmisión y entra en la red de distribución, esto ocurre en una subestación eléctrica. Aquí los voltajes son reducidos nuevamente, por medio transformadores, a aproximadamente 10000 V y puede ser redirigida hacia distintas direcciones. Finalmente esta energía es distribuida por postes y cables delgados desde donde, pasando primero por un último transformador que regresa el voltaje a 120 V, llega a las casas o la industria.

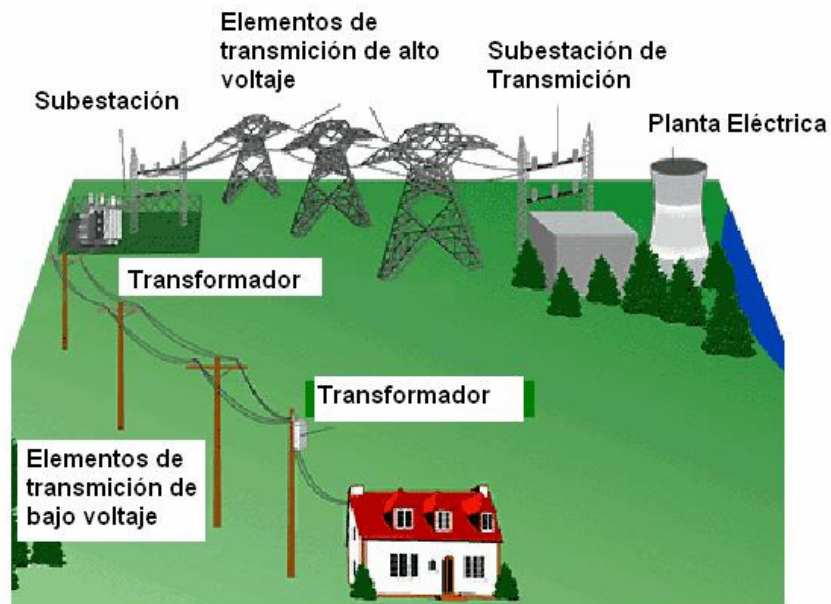


Figura 2.18. Generación y distribución de la energía eléctrica.

¹³ El voltio o volt (símbolo V), es la unidad utilizada en el sistema internacional para el potencial eléctrico, fuerza electromotriz y el voltaje.

2.3 Aplicación de las turbinas de gas en la actualidad

Debido a su gran capacidad de producir energía, su alta eficiencia de combustible y sus bajas emisiones de gases, las turbinas de gas han incrementado su popularidad para la generación de electricidad en las últimas 5 décadas. Como ya hemos mencionado, la temperatura de quemado en la turbina está directamente relacionada con la energía de salida de una turbina y el consumo de combustible. Es por esto que siempre se buscará incrementar la temperatura de quemado, pues esto se reflejará en la eficiencia de la turbina.

Gracias al uso de tecnología de materiales y enfriamiento usada en la aviación, GE ha logrado aumentar la temperatura de quemado en sus turbinas de gas industriales, aunque hay que recordar que esto siempre ocasionará un aumento en el NOx¹⁴, lo cuál nunca es deseable. GE ha resuelto este problema en su nueva serie de turbinas "H", donde ha logrado incrementos de 110 °C en su temperatura de quemado con respecto a la anterior tecnología F, además de mantener la emisión de NOx al mismo nivel. El ciclo combinado usando turbinas de la clase H logra una eficiencia aproximada del 60%, mayor que las tecnologías usuales usadas actualmente.

El intercambio de tecnología entre las distintas áreas de GE ha permitido mejoras que incluyen:

- Aerodinámica del compresor, diseño mecánico y pruebas de modelos a escala.
- Pruebas del combustor a escala completa con temperaturas y presiones de operación.
- Aerodinámica de la turbina, transferencia de calor y pruebas en cascada de las toberas y alabes.
- Transferencia de materiales y de recubrimientos.
- Procesamiento de los alabes y rodetes de la turbina con superaleaciones.
- Aplicación de instrumentación y monitoreo a las máquinas.
- Desarrollo de códigos para la transferencia de calor y flujo de los fluidos.
- Desarrollo de procesos para los recubrimientos de barrera térmica.
- Caracterización y datos de materiales.
- Creación y pruebas de componentes y subsistemas para diversos propósitos dentro de la turbina.
- Diseño e introducción de pruebas de evaluación no destructivas.

La tecnología de las turbinas modelo "H" está pensada para ser usada en ciclos combinados. Con temperaturas de quemado de 1430 °C, la temperatura de escape de la turbina es determinada por el trabajo requerido para operar el compresor, que a su vez es afectado por el índice de compresión del compresor.

¹⁴ Óxidos de Nitrógeno, que se consideran altamente contaminantes.

El índice de compresión para la tecnología H de 23:1, fue seleccionado para optimizar el rendimiento de los ciclos combinados y al mismo tiempo permitir la introducción de una última etapa que no requiere enfriamiento.

Este nuevo índice de compresión permite que el uso de 4 etapas en la turbina provea un mejor desempeño y costo. Esta es una modificación muy importante con respecto a la tecnología de la clase F, que usa un índice de compresión de 15:1 y tiene solo tres etapas.

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos buscados para mejorar la eficiencia de las turbinas es aumentar la temperatura de quemado, esto ocasiona la necesidad de enfriar la tobera de la etapa, que es la que recibirá el mayor choque térmico. A diferencia de usar el aire del compresor para el enfriamiento como es usual, la tecnología H utiliza un circuito cerrado de vapor como refrigerante, lo que permite que la temperatura de paso en la tobera solo se reduzca 44 °C, a diferencia de los 155 °C del sistema de aire, esto es posible gracias a los nuevos materiales y recubrimientos de la tobera que permiten soportar mayores temperaturas. Otro beneficio adicional es que el vapor sobrecalentado que sale de la tobera es usado para la turbina de vapor, además de que, al no extraer aire del compresor, todo se canaliza al paso de flujo de la turbina para ser convertido en trabajo.

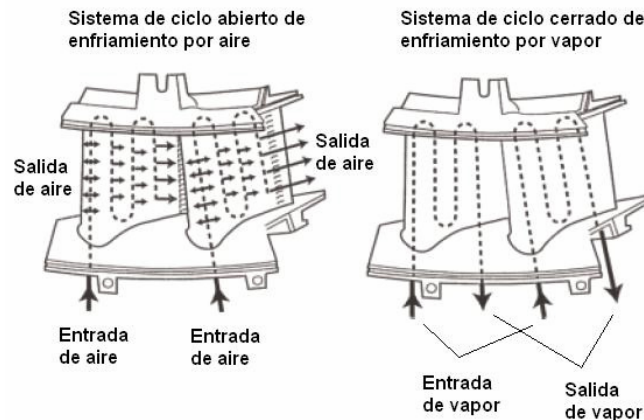


Figura 2.19. Comparación de los sistemas de enfriamiento por aire y vapor de las toberas de la primera etapa de las turbinas de gas de GE.

También es importante mencionar que para hacer los alabes y toberas de la primera etapa y los recubrimientos de barrera térmica para la primera y segunda etapa se usan materiales de tecnología avanzada llamados Materiales de Cristal Único, estos consisten en un monocristal sin límites de grano¹⁵, esto quiere decir que los átomos mantienen el mismo patrón y orientación de celda unitaria¹⁶ a lo largo de todo el material.

¹⁵ El grano cristalino hace referencia a segmentos de la estructura cristalina de los materiales a un nivel microscópico.

¹⁶ Celda unitaria.- Es el menor grupo de átomos representativo de una determinada estructura cristalina.

El combustor del sistema H es conocido como DLN 2.5. Estos combustores han demostrado su capacidad de mantener las emisiones de NOx en niveles bajos, además de ser capaces de resistir las altas temperaturas generadas por la combustión.

Las especificaciones de los ciclos combinados de las turbinas 9H y 7H son comparadas con las de la anterior tecnología F en las siguientes tablas:

Tabla 2.1 Comparación de las características de la tecnología 9FA y 9H en ciclo combinado a 50 Hz.

	9FA	9H
Temperatura de quemado [°C]	1316	1430
Flujo de Aire [kg/s]	625	685
Índice de compresión	15	23
Energía de salida neta [MW]	391	480
Eficiencia neta %	56.7	60
NOx [ppm* a 15% O ₂]	25	25

*Partes por millón

Tabla 2.1 Comparación de las características de la tecnología 7FA y 7H en ciclo combinado a 60 Hz.

	7FA	7H
Temperatura de quemado [°C]	1316	1430
Flujo de Aire [kg/s]	433	558
Índice de compresión	15	23
Energía de salida neta [MW]	263	400
Eficiencia neta %	56.0	60
NOx [ppm* a 15% O ₂]	9	9

*Partes por millón

El riguroso proceso de diseño y validación realizados para la tecnología H es un buen ejemplo de los programas de desarrollo de nuevos productos de GE, que siempre empiezan con un concepto bien estudiado y numerosas revisiones y validaciones.

Esta es la nueva generación de turbinas de gas para la generación de energía.

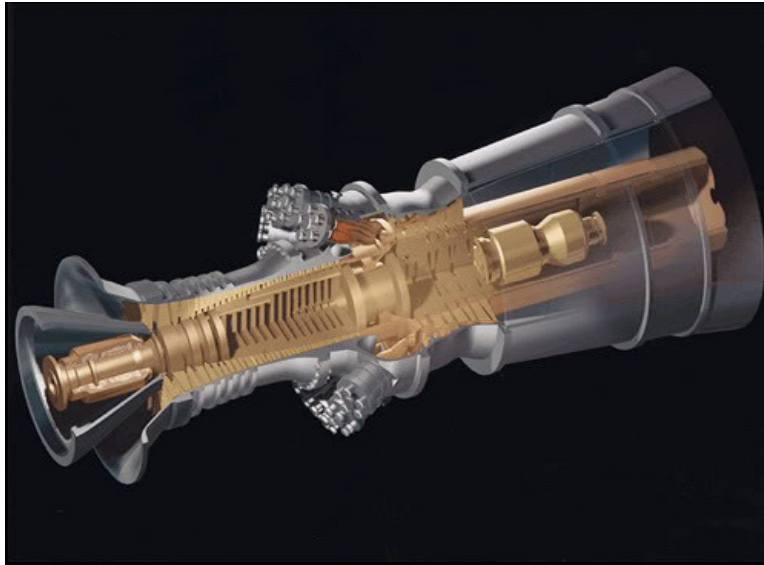


Figura 2.20. Turbina de gas de la tecnología H de GE.

Capítulo 3. Descripción de los proyectos (generación de propuestas, estudio e investigación de las mejoras, determinación de la viabilidad; propuesta del sistema y partes convenientes).

3.1 Razones y necesidades de las actualizaciones y mejoras continuas en los sistemas de las turbinas.

Retomando lo brevemente comentado en el primer capítulo, las turbinas de clase F de GE son actualmente de las más usadas a nivel global para producir energía eléctrica.

GE introdujo la tecnología F en 1984, justo cuando el gas natural empezaba a tener auge como combustible para la generación de electricidad. La primera unidad fue embarcada en 1988 y entró en servicio comercial en 1989 en Virginia Estados Unidos.

Para 1994 una unidad 7FA ubicada en Corea fue la primera turbina en el mundo en lograr más del 55% de eficiencia trabajando en ciclo combinado. En 1996 otra turbina 7FA en Nueva York reportó un 100% de confiabilidad y disponibilidad por más de 108 días de operación continua.

En el 2002 el modelo 7F había sobrepasado las 5 millones de horas de servicio en todo el mundo. En 2005 China encargó 20 unidades de máquinas de la clase F para una serie de proyectos enfocados en cubrir la creciente demanda de energía pero limitando la contaminación, mientras que entre 2006 y 2007 Arabia Saudita compró 35 unidades.

Según el Programa de Análisis de Fiabilidad Operacional de GE, la turbina 7F es la más confiable de la familia F con un 99.1% de confiabilidad. También reportan que el tamaño 9FB, de la nueva tecnología, ha excedido el 58% de eficiencia trabajando en ciclo combinado, produciendo más de 412 MW, bastante mayor que la anterior 9FA con aproximadamente 390 MW.

Ge reporta que la flota de turbinas F ha acumulado más de 20 millones de horas de operación comercial en plantas termoeléctricas de ciclo combinado y/o turbinas de gas en todo el mundo. Actualmente GE cuenta con más de 1000 turbinas en operación, solo de la clase F.

GE es, además, el mayor productor y distribuidor de turbinas de uso industrial, un logro importante considerando que tiene una fuerte competencia, en este ámbito, con grandes empresas internacionales. En la siguiente tabla se hace un comparativo de los cuatro más importantes productores de este tipo de máquinas:

Tabla 3.1 Comparativo de la producción de turbinas industriales.

Empresa	Unidades en funcionamiento
General Electric (familia F)	1072
Siemens (turbinas de más de 50 MW)	1010
Alstom (todos sus modelos)	740
Mitsubishi (todos sus modelos)	320

Hay que recordar que las unidades de GE mencionadas en la tabla anterior solo representan a la familia F, sin embargo también hay una gran cantidad de otros modelos en funcionamiento actualmente, como la anterior familia “E” y la nueva familia “H”.

Tomando éstas consideraciones, es fácil ver que GE se mantiene, por mucho, como el mayor distribuidor mundial de turbinas de trabajo pesado.

Lograr esto no es sencillo, ya que no es suficiente brindar productos que solo cumplan con los requerimientos del cliente, es también muy importante que dichos productos tengan una calidad que supere las expectativas; tener capacidad para monitorear las unidades; dar mantenimiento correctivo y preventivo; servicio constante al cliente que permita mantenerlo informado de las mejoras y actualizaciones; comunicación y atención constante que le de al cliente la seguridad de que cualquier problema que se presente será resuelto; etc. Hay que recordar que por cada hora que una turbina está sin funcionar, se pierden miles de dólares, además de generar un desabasto de electricidad para la población.

Siempre con la filosofía de no solo brindar los mejores productos, sino también los mejores servicios, GE ha creado la división de GE Energy Services (Servicios de Energía de GE), enfocado al seguimiento continuo de todas las unidades vendidas, con todo lo que esto representa, desde tener una base de datos actualizada sobre los componentes y sistemas de la máquina, hasta una comunicación constante con los dueños de las unidades para cubrir cualquier necesidad o problema que puedan tener.

Debido a la gran cantidad de unidades en funcionamiento, clientes alrededor del mundo y áreas donde es necesaria una atención constante, hacer lo descrito anteriormente no es nada sencillo, por lo que GE Energy Services se divide en distintos grupos, cada uno enfocado en un área en particular. Una de estas divisiones es llamada “Services Engineering Gas and Combined Cycles”, que, a su vez, contiene dentro de sus subdivisiones al equipo de Aplicaciones de la Clase F.

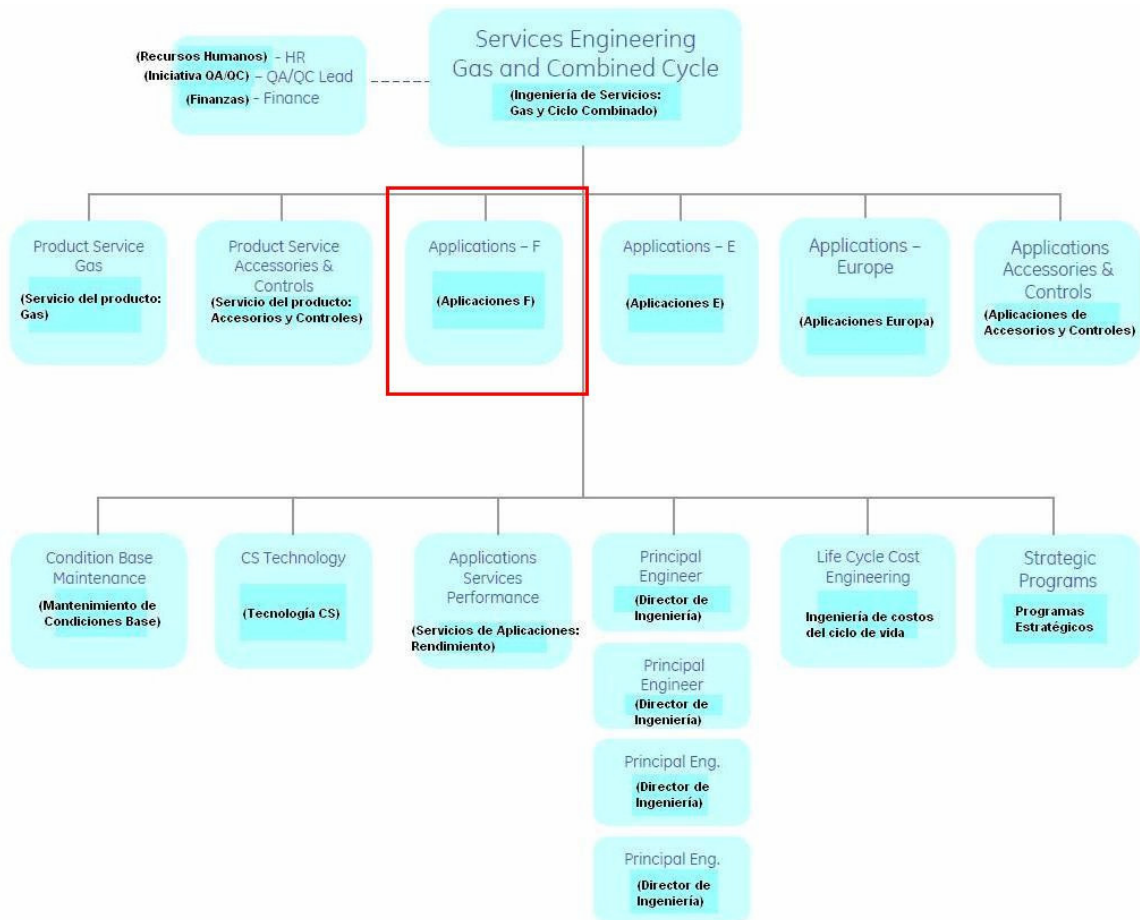


Figura 3.1 Organización de “Services Engineering Gas and Combined Cycle” de GE.

Una parte muy importante de las funciones de los ingenieros de aplicaciones F es crear las propuestas técnicas que permiten que una máquina continúe ofreciendo el mejor desempeño posible y, en muchos casos, mejorar el que ya tenía.

Además de ser indispensable para la sociedad de la época actual, la generación de electricidad puede ser un negocio muy lucrativo, por lo tanto la competencia por el desarrollo de nuevas tecnologías que otorguen una ventaja competitiva a las turbinas es muy importante.

Estas ventajas deben ser palpables y representar una seria oportunidad de mejora. Si bien en última instancia se buscará producir energía constante y lo más barata posible, también es importante conservar la calidad de las máquinas, lo que a su vez se traducirá en beneficios para el cliente y la generación eléctrica.

Estas actualizaciones se hacen en toda la turbina y pueden ser desde intercambios de partes menores hasta modificaciones mayores de los componentes principales como el compresor y el ducto de los gases calientes.

Estas modificaciones se pueden agrupar de dos formas distintas:

1. Por la Sección de la Turbina:

- a) Admisión de aire.- Incluye todos los sistemas que absorben aire de la atmósfera y lo dirige a la tobera guía de entrada al compresor.

En esta sección el objetivo será proporcionar el aire más adecuado para el buen funcionamiento de la máquina, ya que incluso las mínimas impurezas en el aire pueden ocasionar una descompostura en el compresor o una combustión ineficiente. Lo mismo sucederá con el estado del aire, como por ejemplo, en una planta cercana al mar, donde además de mucha humedad el aire será salobre. Esto se consigue con filtros especiales hechos de materiales sintéticos de alta tecnología y sistemas que regulen las condiciones de entrada del aire, como enfriadores, evaporadores o calentadores por mencionar los más importantes.

- b) Compresor.- Incluye todas las modificaciones y actualizaciones que mejoran la eficiencia del compresor.

El objetivo que se persigue es que el compresor mantenga un Índice de Compresión adecuado y constante; evitar las fugas de aire; las fallas en los alabes rotatorios y estacionarios (éstos pueden ser de fractura, fatiga, corrosión, deformación, desestabilización, etc.) y lograr un flujo de aire óptimo a lo largo de todas las etapas. Debido a las grandes fuerzas ocasionadas por la velocidad de rotación del compresor, es el componente más susceptible a las fallas. Entre las actualizaciones más importantes se incluyen la mejora constante de los perfiles de los alabes; los tratamientos que impiden el deterioro de los componentes; uso de materiales de alta tecnología y sistemas para el anclaje adecuado de los componentes rotatorios que eviten un desplazamiento inadecuado.

- c) Sistema de combustión.- Incluye las modificaciones que mejoran el funcionamiento del combustor y la combustión en sí.

El objetivo es lograr una combustión constante, a temperatura adecuada y con las cantidades óptimas de combustible con un suministro ininterrumpido, evitando las fugas de aire o combustible y el deterioro de los componentes debido a las grandes temperaturas que tienen que soportar. Las principales mejoras de este sistema es la manufactura de partes con materiales que incluyen el uso de aleaciones y recubrimientos cerámicos que soporten los choques térmicos; precalentadores de combustible que optimicen la combustión y sistemas que permitan el flujo adecuado de los gases calientes hacia la turbina.

- d) Turbina.- Incluye las mejoras y actualizaciones de la turbina, poniendo especial atención en los componentes del ducto de gases calientes (alabes, cinchos y toberas).

Recordemos que es en esta sección donde la energía térmica es transformada en mecánica y por lo tanto una de las partes más críticas de la máquina. Esta parte, además de ser la más importante, es también la más susceptible a fallas después del compresor, ya que tiene que soportar esfuerzos muy grandes y temperaturas elevadas. Lo que se busca es incrementar estas fuerzas y temperaturas, lo cuál se traducirá en un aumento en la energía de salida (rendimiento). Esto se logra con la utilización de materiales y recubrimientos de última generación; optimizando los perfiles y las formas de los alabes y las toberas para que permitan un flujo uniforme y libre de turbulencias; mejorando los sistemas de enfriamiento; los sistemas de anclaje de los alabes y cualquier modificación en el diseño que permita un mayor aprovechamiento de la energía.

- e) Escape.- Son todas las mejoras que se aplican desde que los gases calientes dejan la última etapa de la turbina hasta su salida a la atmósfera o a subsistemas como intercambiadores de calor.

Lo que se busca es una salida segura y rápida de los gases, sin fugas o pérdida de temperatura y donde sea posible verificar que cumplen con las limitaciones para los productos contaminantes. Entre las principales actualizaciones se encuentran los sistemas de seguridad (como alarmas, sensores atmosféricos y de presión, etc.) para impedir concentraciones altas de gases; sistemas contra incendios y sistemas de asilamiento.

- f) Carcasa.- Todas las modificaciones que se hacen en la carcasa de la turbina.

Se busca lograr una carcasa lo más fuerte y firme posible, debido a los grandes esfuerzos a los que tiene que dar soporte; evitar las fugas de los fluidos en su interior y proteger los componentes internos de los agentes ambientales. Entre las principales mejoras están el uso de metales y aleaciones de alta tecnología; los sellos de materiales sintéticos que resisten altas temperaturas; los soportes que eviten la falla de los componentes por vibración excesiva; cojinetes que reduzcan la fricción rotacional a casi cero y sistemas que permitan abrir rápidamente la carcasa, ya sea para composturas o mantenimiento.

- g) Auxiliares.- Son todos los subsistemas que permiten el funcionamiento de la turbina, como tuberías, sistemas de lubricación, sistemas de enfriamiento, sistemas de limpieza, sensores, termopares, alarmas, válvulas, etc.

Se busca que estos sistemas sean confiables y durables, ya que son parte imprescindible para el buen funcionamiento de la turbina y una falla en ellos puede ocasionar el paro o la descompostura de la turbina. Muchos de estos componentes son suministrados por compañías especializadas

- h) Control.- Se refiere a los instrumentos digitales e inteligentes y sistemas lógicos que controlan la operación de la turbina.

A la par de las mejoras en los componentes físicos de las turbinas, se han ido mejorando sus sistemas de control, usando computadoras cada vez más poderosas y exactas que permitan procesar las grandes cantidades de información que una turbina en funcionamiento suministra a cada momento. Aquí se busca actualizar, por una parte, el hardware, adaptando los más recientes componentes informáticos de procesamiento, cableado, conexión, interacción con el usuario y visualización. Por otra parte se busca mejorar los programas de control que permitan optimizar el funcionamiento de la máquina. Entre las principales mejoras se encuentran las de visualización remota, que permite tener un registro de la turbina minuto a minuto sin necesidad de estar en el sitio; las que registran irregularidades en el funcionamiento y se auto ajustan, disparan alarmas o detienen la máquina, dependiendo del evento; y las que mejoran el rendimiento de la máquina controlando factores como el suministro de combustible, la entrada de aire y la salida de gases.

2. Por su finalidad:

- a) Rendimiento.- Son todas aquellas modificaciones y mejoras, que se enfocan en incrementar la energía de salida de la turbina.
- b) Eficiencia.- Son todas las mejoras que se enfocan en mejorar la eficiencia térmica de la turbina.
- c) Confiabledad y Servicio.- Son todas aquellas actualizaciones que aseguran que la turbina funcione adecuadamente durante el mayor tiempo posible.
- d) Mantenimiento.- Son todas aquellas mejoras que permitan alargar los intervalos requeridos entre mantenimientos y reducir el tiempo en que una turbina tiene que parar para recibirlo.
- e) Emisiones.- Todas aquellas mejoras que reduzcan los residuos contaminantes de la turbina.
- f) Protección.- Son todas aquellas mejoras en los sistemas de seguridad de la turbina, ya sea para evitar daños en la maquinaria o en los alrededores, incluyendo a las personas que trabajan con ella.

Esta clasificación no toma en cuenta el lugar donde se realicen las modificaciones y pueden ser en varios sistemas al mismo tiempo. Tampoco son mutuamente exclusivas, una modificación puede incluir varios beneficios.

3.2 Desarrollo de una propuesta técnica de actualización y mejora (Retrofit).

Hasta ahora solo se ha hablado de las turbinas a grandes rasgos, para comprender sus principios y la ciencia básica detrás de su funcionamiento. Sin embargo, para que una turbina industrial funcione adecuadamente es necesario un complejo desarrollo tecnológico e ingeniería de diseño, debido a la enorme cantidad de componentes y subsistemas que se encuentran en ella. Como se mencionó brevemente en el apartado de las actualizaciones, los principales subsistemas o equipos auxiliares de las turbinas son:

- Sistemas de lubricación.- Son los que impiden el desgaste de los elementos friccionantes en la turbina. Sus componentes incluyen válvulas, tuberías, aspersores, sensores, termopares, mangueras, bombas, líquidos lubricantes, etc.
- Sistemas de soporte.- Incluyen los componentes que dan estabilidad a la máquina. Sus componentes incluyen abrazaderas, estructuras metálicas y de materiales compuestos, amortiguadores, resortes, columnas, etc.
- Sistemas de enfriamiento.- Son los que enfrían los componentes que soportan las grandes temperaturas generadas en la máquina. Sus componentes incluyen válvulas, bombas, sensores, termopares, líquidos refrigerantes, ventiladores, compresores, tuberías, mangueras, etc.
- Sistemas de seguridad y protección.- Son los que logran que la máquina funcione bajo condiciones seguras. Sus componentes incluyen sensores, alarmas, luces, cables, extintores, estructuras de protección reforzadas, etc.
- Sistemas de limpieza.- Son los que se encargan de que la turbina esté libre de impurezas que pueden afectar su funcionamiento. Sus componentes incluyen líquidos detergentes, mangueras, bombas, válvulas, filtros, etc.
- Sistema eléctrico.- El sistema de cables y conexiones eléctricas que lleva la energía a los componentes que lo requieran. Está compuesto por cables, enchufes, conexiones, aislantes, cajas de distribución, etc.

Además de todo lo anterior también son importantes los llamados consumibles, como por ejemplo los tornillos, tuercas, abrazaderas, remaches, conexiones, sellos, tapones, etcétera, que pueden ocasionar fallas tan críticas como las de los componentes mayores.

Si recordamos además que estos componentes son modificados y reemplazados a lo largo de la vida de la turbina, es fácil ver que cada turbina por si misma genera una gran cantidad de información que las hará diferentes entre si.

Es entonces donde la necesidad del Ingeniero de Aplicaciones se hace evidente, ya que no cualquier mejora, actualización o reemplazo podrá ser aplicada a todas las turbinas, ya sea porque es imposible desde el punto de vista de la instalación o porque no es conveniente según las características de la máquina.

Para saber esto será necesario conocer a fondo la turbina y sus componentes, para lograr esto GE ha aprovechado las recientes tecnologías de la informática y la computación, implementando una enorme base de datos y aplicaciones que pueden ser consultadas a nivel global gracias al Internet.

El ingeniero de aplicaciones debe saber manejar estas aplicaciones y poder obtener de ellas la información necesaria que le permita, en conjunto con los ingenieros de campo y los de diseño, ofrecer las mejoras que más convengan a una turbina en particular.

Entre la información que un ingeniero de aplicaciones debe dominar se encuentran:

- Estatus general (año de fabricación, año de embarco, años de operación, datos del dueño, sitio de operación, etc.)
- Configuración inicial interna de la turbina (listas de sistemas, de partes y de materiales).
- Información de las condiciones ambientales donde se encuentra la turbina (temperatura ambiente máxima y mínima, humedad relativa, presión atmosférica, etc.)
- Sistemas adicionales (enfriadores, calentadores de combustible, intercambiadores de calor, etc.)
- Sistema en el que opera la turbina (ciclo simple, combinado, cogeneración, etc.)
- Tipo de Controlador Lógico, PLL o microprocesador.
- Información y descripción de los cambios generados en la turbina (reemplazos, adiciones, actualizaciones, etc.)
- Tipos y características del combustible o combustibles con los que opera.

Proceso de actualización y mejora.

El proceso inicia cuando GE identifica una oportunidad para satisfacer la necesidad de un cliente con algún servicio o producto. Este proceso se hace normalmente en conjunto con los equipos comerciales. A continuación se explica brevemente:

1. Creación de una Oportunidad

- Es donde inicia el proceso.
- En esta etapa se tiene una discusión con el cliente para identificar las posibles oportunidades de mejora.

- Se estudian los productos para crear una lista de modificaciones que pudieran interesar al cliente.

2. Decisión de Oferta/No Oferta

- Se realiza una junta con el cliente para identificar los parámetros de las ofertas.
- Se hace una evaluación del cliente para determinar que ofertas serían más viables y factibles de vender o realizar.
- Se crea una estrategia de precio y ventas.
- Se acotan más las posibles actualizaciones y ofertas técnicas con el cliente.
- Se desarrolla una evaluación inicial de riesgos.
- Se crea un equipo que realizará y dará seguimiento a las propuestas.

3. Generación de una propuesta

- Se dividen las responsabilidades de GE y el cliente con respecto a los productos, así como los precios y condiciones de servicios.
- Se desarrolla una evaluación técnica y estudios de ingeniería.
- Se crea un plan para saber la disponibilidad del material y cumplimiento de acuerdos.
- Se determinan las opciones de financiamiento del cliente.
- Se genera una propuesta para el cliente con la adecuada información comercial y técnica.

4. Negociación y clausura

- Se programa una reunión con el cliente para discutir la propuesta.
- Se negocia y se cierra la orden con el cliente.
- Se modifica la propuesta junto con los cambios derivados de la negociación y se aprueba.
- Se identifican los requerimientos de ejecución.
- Se firman documentos y contratos.
- Se manda al cliente la información de la orden.

Proceso del Ingeniero de Aplicaciones para la creación de una propuesta técnica

Una Oferta De Actualización y/o Modernización es una propuesta de GE para modificar el rendimiento, la operación o la confiabilidad del un equipo y la información necesaria para realizarla de acuerdo a la complejidad, el valor monetario y la necesidad que se debe cubrir para satisfacer al cliente.

En esta oferta el IA (Ingeniero de Aplicaciones) hace la parte técnica de la propuesta, la cuál se desarrolla de la siguiente manera:

1. Una solicitud es generada en el sistema interno, donde se define el número de turbina, el cliente, la descripción detallada de la modificación que requiere y el tiempo en que necesita la propuesta.
2. Para su seguimiento, se le asigna un número único al proyecto y el sistema lo direcciona al departamento de Ingeniería de Aplicaciones para que se realice la propuesta.
3. La solicitud de cotización es asignada a un IA basándose en su disponibilidad de recursos, complejidad del proyecto, experiencia individual, entrenamiento, etc.
4. El IA asignado para realizar la cotización y trabajar en el proyecto tiene que revisar los límites de cotización en las bases de datos. En caso de que estén fuera de estos (ofertas no estandarizadas o inusuales) se tiene que abrir un caso de estimación de cambios y precios con los ingenieros de diseño. Si una modificación fuera de los límites de cotización empieza a ser requerida de manera usual se hace un estudio de ingeniería y se crean los documentos apropiados para estandarizarla.
5. El IA realizará una búsqueda detallada de las características de diseño de la turbina, lista de componentes y sistemas, lista de cambios, ofertas ofrecidas y/o realizadas con anterioridad y cualquier otra información que sea necesaria para el desarrollo de la cotización.
6. Dependiendo del tipo de propuesta, uno o más de los siguientes procedimientos tendrán que ser realizados a discreción del IA:
 - 6.1. Si el equipo de ventas lo solicita, el IA debe participar en las discusiones con el cliente para identificar las oportunidades de mejora.
 - 6.2. En propuestas más complejas, se requerirá hacer una reunión o llamada formal para clarificar los requerimientos, fechas de entrega, etc.
 - 6.3. Revisar partes específicas de la propuesta con ingenieros y dibujantes. Estas revisiones son comúnmente informales, a menos que produzcan cambios significativos o impacten los recursos. En este caso se tiene que abrir un estudio con los expertos.
 - 6.4. Revisión del rendimiento. Todas las turbinas tienen archivos de las curvas de rendimiento. Se pueden generar nuevas curvas añadiendo los datos de las actualizaciones, con esto el cliente podrá comparar el impacto en el rendimiento debido a las modificaciones.
 - 6.5. Revisar que no exista un cambio en los controles o la instrumentación de la turbina, de ser necesario se abrirá un estudio con los expertos.
 - 6.6. Revisar partes que vengan de proveedores externos (como filtros, calentadores, etc.) y contactarlos de ser necesario.
 - 6.7. Verificar que no se vaya a afectar el rendimiento de manera negativa.
 - 6.8. En caso de que la propuesta esté fuera de los límites de cotización, se tendrá que seguir el procedimiento adecuado para formar la propuesta.
 - 6.9. Las propuestas para los sistemas de combustión también requieren aprobación del departamento de Ingeniería de Combustión.
 - 6.10. Algunas propuestas requerirán un estudio de revisión de riesgos:
 - Cualquier nuevo producto que sea aplicado por primera vez.

- Cualquier cambio en el sistema de combustión que esté fuera de los límites de cotización.
 - Cualquier propuesta que contenga garantía por contrato.
 - Cualquier propuesta de cambio de combustible.
7. Se hace una segunda junta con el equipo comercial para verificar que no haya cambios o modificaciones en los requerimientos.
 8. Se negocia una fecha de entrega definitiva para la propuesta.
 9. El IA debe entregar dos cosas: 1) La lista de materiales –BOM por sus siglas en inglés- usado para fijar los precios y realizar la modificación. 2) La Propuesta Técnica.
 10. El Gerente de Ingeniería de Aplicaciones o algún ingeniero capacitado verifica que la propuesta no contenga errores y después es enviada para añadirla a la propuesta comercial.

Capítulo 4. Caso práctico. Desarrollo de un caso concreto que haya realizado durante mi actividad profesional.

En este capítulo se desarrollará la metodología de la realización de una propuesta técnica y sus dos entregables: el documento con la información necesaria de lo que se ofrece y la lista de partes y materiales para implementarlo.

Debido a políticas de confidencialidad de GE, ciertas partes de las aplicaciones y documentos han sido eliminadas u ocultadas sin que esto afecte la exposición del desarrollo del proyecto.

Debido a que estas cotizaciones se pueden realizar en cualquier lugar del mundo donde GE tenga clientes, las propuestas y todo lo relacionado con ellas se hace en el idioma Inglés por su universalidad.

Oportunidad de mejora o actualización

El proyecto inicia, como se menciona en el capítulo anterior, con la identificación de la necesidad o problema de un cliente, en este caso el dueño de una turbina de gas de la clase F, modelo 7FA+e. En esta oportunidad el cliente desea, por recomendaciones de GE (basado en estudios, información, retroalimentación del cliente y necesidades de operación), aumentar el intervalo de revisiones de mantenimiento del sistema de combustión.

Los intervalos de mantenimiento son inspecciones que se les realiza a los componentes en un determinado tiempo de operación para verificar las condiciones en las que se encuentran. Estos son obligatorios para asegurar un adecuado funcionamiento de la turbina y evitar descomposturas. Los intervalos se designan en función de las características de las partes y subsistemas usados en el sistema de combustión de la turbina.

Asignación del proyecto

De acuerdo a los puntos 1,2 y 3 de la metodología del capítulo anterior, la propuesta me es asignada como Ingeniero de Aplicaciones (IA). Una vez que el proyecto se haya registrado en el sistema por los equipos comerciales y a petición del cliente, este automáticamente envía un correo electrónico que servirá como notificación de que se debe realizar.

En este correo vendrá la información básica para iniciar el proyecto (figura 4.1):

1. Gerente de Ingeniería que asigna el proyecto.
2. Ingeniero de Aplicaciones asignado.

3. Copia del correo a las personas involucradas en el proyecto.
4. Número único asignado al proyecto.
5. Descripción o Alcance del suministro.
6. Nombre del cliente.
7. Nombre de la estación o lugar donde se encuentra la turbina
8. Número de serie de la turbina.
9. Descripción detallada de los requerimientos en la propuesta.

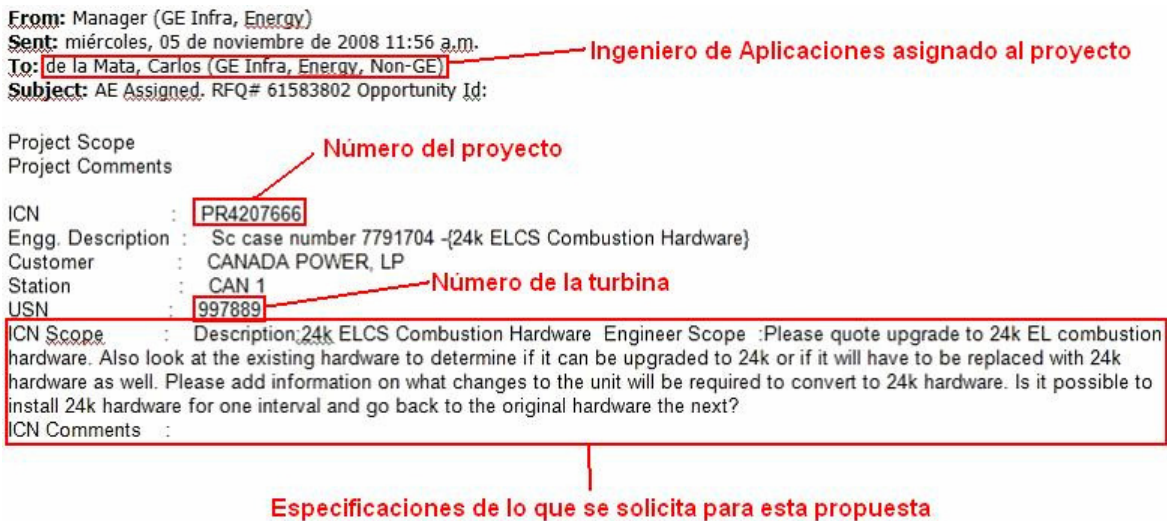


Figura 4.1. Correo electrónico de asignación con la que comienza de manera formal el desarrollo de la propuesta técnica.

Con este correo se inicia formalmente el desarrollo de la propuesta y se considera un documento válido de la responsabilidad del IA para realizar el proyecto.

En la descripción se observa que el cliente desea extender el intervalo de las inspecciones del sistema de combustión a 24000 (24K) horas de operación, por lo que requiere saber si es posible realizarla y la información y material necesarios para hacerla. En esta información se basa el IA para hacer la propuesta.

Una vez que ha llegado el correo electrónico, el IA debe acceder a la aplicación que contiene el registro completo del proyecto, donde podrá obtener más detalles e información sobre el mismo, documentos o archivos adicionales y la fecha límite de entrega del proyecto entre otras cosas (Figura 4.2).

ITO Ingeniero asignado User Name: de la Mata, Carlos

RFQ CQ47934 Details View ICN Attachments Back

Customer Information		Unit Serial Number	997889	Product Line	Gas
Customer Name		CANADA POWER, LP		Model	Modelo de la turbina 71FA+E
Country		CANADA		Station	MCV EXPANSION PROJECT
Eng. Service Type		Gas		Related Units	338X325
Order Type		Quote Contractual Services		ICN Status	QuoteConverted
Line Type		Engineering Flow			
Order Info					
Project Tracking Number		PR4207666		Total Estimated Value \$	0.0
Customer RFQ		61583802		Outage Type	Other
Previously Quoted		FALSE		Priority Type	Time Critical
Quote Source		EAM		Order Administrator	
Engineering Difficulty		Straight Source Book		Project Attachment	View Project Attachments
Engineer Description		24K Extended Interval Combustion Hardware		Engineer Attachment	View Project Attachments
Quote/Order Entered by		QUOTEORDERINT			
Engineer Scope		Description 24k ELCS Combustion Hardware Engineer Scope :Please quote upgrade to 24k EL combustion hardware. Also look at the existing hardware to determine if it can be upgraded to 24k or if it will have to be replaced with 24k hardware as well. Please add information on what changes to the unit will be required to convert to 24k hardware. Is it possible to install 24k hardware for one interval and go back to the original hardware the next?			
Controls Scope		Special Requirements			
Commercial OPS Notes					
Engineer Notes					
Dates					
Outage Start Date				Customer Want Date	11/25/08
Outage End Date		12/15/08		Request Ship Date	11/25/08
Proposal Due Date			Fecha de entrega	Engineering Due Date	11/19/2008 >

Save Unassigned Q

Figura 4.2. Una vez asignado el proyecto, se usarán las aplicaciones para obtener los datos detallados.

Refiriéndonos nuevamente a la metodología, de aquí en adelante se realizarían los puntos 4, 5 y 6.

Validación del proyecto

El primer paso es analizar la descripción de ingeniería de lo que el cliente necesita para saber si es realizable, esta descripción viene tanto en el correo como en el registro.

Muchas veces las descripciones son insuficientes o confusas, por lo que habrá de contactar a la persona o personas que solicitaron la modificación, que pueden ser los empleados del área comercial o el ingeniero encargado de la turbina, los cuales son los intermediarios de GE con el cliente. Esta retroalimentación se suele hacer vía conferencia telefónica remota, correo electrónico y conversaciones por mensaje instantáneo con el programa interno de la empresa, ya que es común que las distintas personas involucradas en el proyecto se encuentren en diferentes partes del mundo.

Para este caso no fue necesaria retroalimentación adicional ya que el objetivo estaba bien explicado.

Una vez que la descripción ha quedado suficientemente clara, se revisa que la opción no haya sido cotizada previamente para que no se vaya duplicar la propuesta y se verifica en las bases de datos y documentación interna que la

opción está dentro de los límites de cotización de GE. En caso de que no haya información al respecto se puede consultar directamente con los expertos.

En este caso la solicitud de aumentar los intervalos a 24000 horas (lo cuál significa que una revisión será necesaria después de 24000 horas de operación continua de los componentes) entraba en los límites de cotización y la oferta nunca había sido cotizada.

Una vez confirmado esto, siempre usando las aplicaciones de GE, se busca la información pertinente de cómo realizar la modificación:

1. Información técnica del cambio (introducción, descripción, beneficios, etcétera).
2. Partes y/o sistemas adicionales.
3. Partes y/o sistemas que deben ser reemplazados.
4. Descripción del cambio en campo.
5. Tiempo aproximado para hacer la modificación.
6. Tiempo de horas de trabajo de los técnicos y/o ingenieros.
7. Consumibles.

En el proyecto que exponemos, se determina que para realizar el aumento en los intervalos de inspección de mantenimiento, se requiere:

- 300 horas de trabajo de ingeniería.
- Reemplazo de la cubierta de las toberas de combustible.
- Reemplazo la pieza de transición que lleva los gases calientes de la cámara de combustión a la tobera de la primera etapa.
- Reemplazo del cilindro de combustión de la cámara de combustión.
- Reemplazo de la camisa de flujo de la cámara de combustión.
- Reemplazo de los tubos de cruce de fuego del sistema de combustión.
- Se recomienda cambiar la tubería del sistema, aunque esto solo es opcional y quedará a consideración del cliente.

Esta modificación se enfoca en mejorar el sistema de combustión de la turbina, reemplazando las partes críticas por componentes nuevos con tecnologías, materiales y recubrimientos de última generación, los cuáles tienen una resistencia mayor a los choques térmicos y las altas temperaturas, esto a su vez previene las fallas y descomposturas en los componentes e incrementa el tiempo entre las inspecciones.

Análisis de la de la turbina

Una vez que se ha comprobado que el proyecto es factible, se tiene que verificar, basado en la información recopilada sobre la actualización, que sea realizable para la turbina en cuestión, en este caso una modelo 7FA+e.

Ya que esta modificación se realiza en el sistema de combustión, es en este donde se debe enfocar el análisis, siempre verificando que no vaya a repercutir en los otros sistemas o componentes de la turbina.

Aquí el ingeniero de aplicaciones usa su entrenamiento y conocimientos para hacer una exhaustiva investigación en las bases de datos, aplicaciones y documentos a los que tenga acceso dentro de la extensa base de datos de GE (manuales, estudios de ingeniería, propuestas previas, etc.).

La información más relevante para este caso es la configuración del sistema de combustión, es decir los sistemas y las partes que lo componen.

El primer paso es buscar los números de parte que conforman el sistema, estos números son códigos con una estructura de árbol, es decir, el primer número representa el tronco y bajo este se encuentran más números que representan componentes del sistema que a su vez se dividirán en más componentes (Figura 4.3).

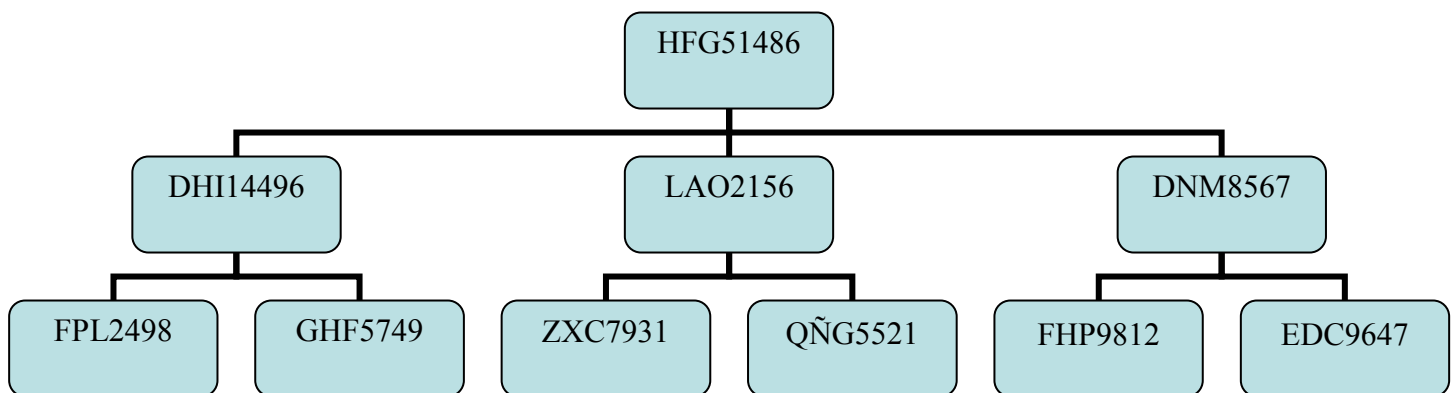


Figura 4.3. Representación de la estructura de los números de parte de una turbina, puede haber tantos niveles y componentes como sea necesario.

Cada turbina tiene una lista con los números troncales de cada una de las partes que conforman sus sistemas (combustor, compresor, turbina, carcasa, tuberías, cojinetes, toberas, etcétera), así como cualquier reemplazo o modificación que hayan requerido. A esta lista se le llama la Configuración de la turbina (Figura 4.4).

10/30/1972	0	0549	----	248183	PUMP ASM OIL HYD RATCHET MOD
05/24/2002	1	0557	----	18G005	TRANSDUCER ARR-MOD
01/01/1900	1.00000	0601	---	226A1P001	GEAR,ACCESSORY
01/01/1900	1.00000	0602	---	1819P001	DIESEL ENGINE START
05/27/2005	1	0602	----	248A40501	DIESEL ENGINE QQGM-12V71N
01/01/1900	1.00000	0605	---	185A0P001	TORQUE CONVERTER
05/27/2005	1	0605	----	373P004	TORQUE CONV - DIESEL 5-1
01/01/1900	1.00000	0607	---	1587P001	COMPRESSOR,ATOMIZING AIR
01/01/1900	1.00000	0608	---	215A4G001	FAN-RADIATOR
01/01/1900	1.00000	0609	---	114AP006	DRIVE,RADIATOR FAN
01/01/1900	1.00000	0611	---	221015P001	PUMP,FUEL
01/01/1900	1.00000	0613	---	185A181001	FLOW DIVIDER
01/01/1900	1.00000	0615	---	185A17001	COUPLING,FLEXIBLE
01/01/1900	1.00000	0616	---	1670P005	SHAFT,FLEX COUPLING
01/01/1900	18.00000	0623	---	22436P001	THERMOCOUPLE
01/01/1900	1.00000	0627	---	185A1001	PUMP,CONT-HIGH PRESS.,HYD
01/01/1900	1.00000	0701	---	70541P056	CHAMBER ARR,COMBUSTION
01/01/1900	10.00000	0702	---	74320004	TRANSITION PC,COMBUSTION
01/01/1900	1.00000	0703	---	15298P034	CAP&LINER
01/01/1900	1.00000	0706	---	772G002	FRAME ASSY,EXHAUST
01/01/1900	1.00000	0710	---	138C8563G	TURBINE,SHELL&SHROUD ASM
01/06/1978	0	0710	----	1493P001	CASE&SHROUD ASSY,TURBNE,MOD
01/01/1900	1.00000	0801	---	678D02501	CASE ASM,INLET&BRG #1
01/01/1900	1.00000	0802	---	6755G001	CASING,COMPRESSOR,FWD,ASM
01/01/1900	1.00000	0803	---	676D4G001	CASING,COMPRESSOR,AFT,ASM
01/01/1900	1.00000	0804	---	72127G001	CASE,CPRSR DISCH&FRAME
01/01/1900	1.00000	0812	---	756E0903	CASE,INLET&BRG #1
01/01/1900	1.00000	0901	---	67433G001	BASE,UNIT,FINAL FAB&MACH
01/01/1900	1.00000	0902	---	678D043501	PIPE FITTING ASM
01/01/1900	1.00000	0903	---	70270G001	PIPING ARR,LUBE OIL INT
01/01/1900	1.00000	0904	---	772E0001	PIPING ARR,OIL TANK EXTER
09/18/1974	0	0904	----	132D51501	PP ARRGT CPLG FEED & DRAIN
01/01/1900	1.00000	0905	---	772E001	PIPING ARR,BRG FEED&DRAIN
01/01/1900	1.00000	0908	---	0271G001	PIPING ARR,CONTROL OIL IN
01/01/1900	1.00000	0909	---	772E07001	PIPING ARR,COOLING&SLG AI
12/30/1971	0	0909	----	28042G002	PP ARR CLG&SLG AIR MOD

Figura 4.4. Partes principales o “troncales” del sistema de combustión en la lista de componentes dentro de la Configuración.

Una vez identificadas las partes troncales, estas se “abren” para ver sus subniveles e identificar mejor sus componentes y determinar, a partir de su análisis, si son compatibles con la modificación que se quiere hacer (Figura 4.4).

P/N

FN: SINGLE - LEVEL EXPLOSION PAGE: 2

PRINTER: NPRT REGN: P5

ITEM NO: 676D0004 CHAMBER ARR, COMBUSTION

E/C NO: END-ITEM: PREF: SUFF: REV: DATE: 03/02/11

CTRCT: NÚMERO DE PARTE TRONCAL ACT: E-I SEQ:

LV	PREF	COMPONENT	ITEM NO.	SUFF	UM	PER	ASSEM	DATE	DATE	PKG	SEQ	ACT
01	0015	3183P008		A05	EA	10.00000		10/13/93				
		GASKET										
01	0016	286A006		F02	EA	1.00000		10/13/93				
		PIPE CAP										
01	0018	N33032		A08	EA	160.00000		10/13/93				
		BOLT, HEX HD - ALLOY STL										
01	0019	N14P33		A04	EA	140.00000		10/13/93				
		BOLT, HEX HD - ALLOY STL										
01	0020	P35028		C05	EA	16.00000		10/13/93				
		BOLT, HEX HD - ALLOY STL										
01	0021	N260033		A05	EA	140.00000		11/05/97				
		STL LOCKNUT 0.625-11										

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE (CÁMARA DE COMBUSTIÓN)

NÚMROS DE PARTE BAJO LA PARTE TRONCAL

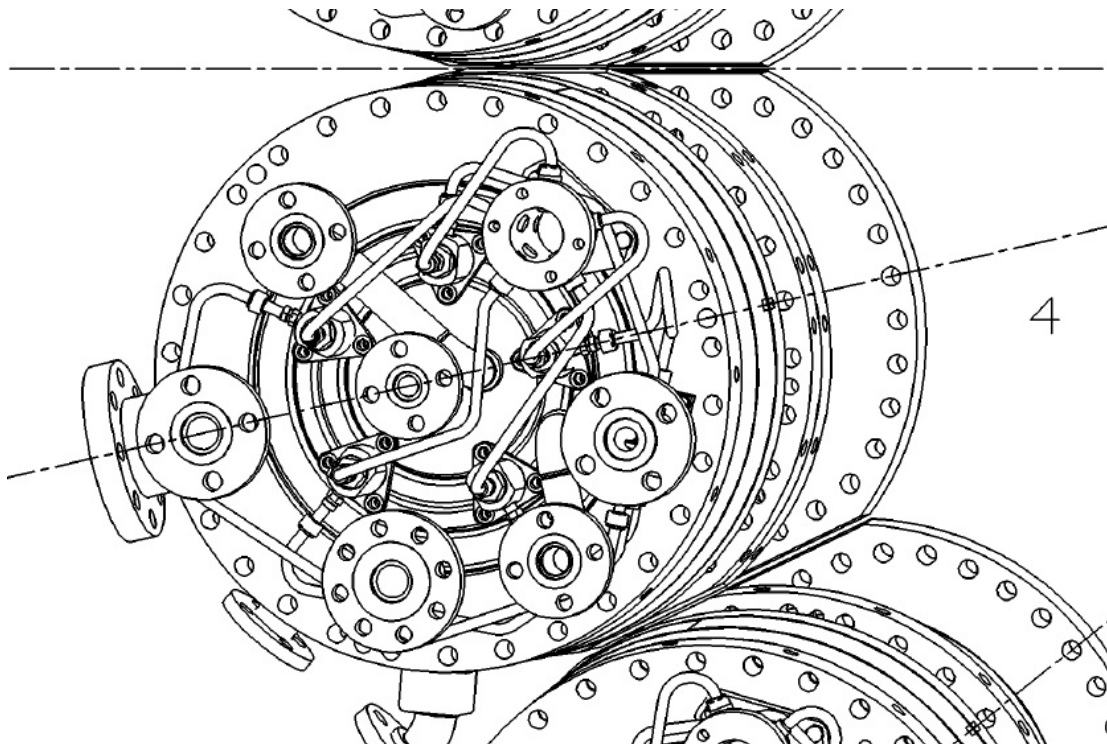
Figura 4.4 Parte troncal de la cámara de combustión con un fragmento de la lista de su primer subnivel.

Estos análisis se hacen usando las herramientas de GE para recopilar datos sobre los componentes y revisando los dibujos técnicos. Con la información obtenida se determinará la compatibilidad entre los componentes actuales y los nuevos. Entre las principales características a verificar, tanto de las partes instaladas como de las nuevas, se encuentran (Figuras 4.6 y 5.7):

- Tecnología de los componentes
- Materiales y recubrimientos
- Dimensiones
- Sistemas de anclaje y soporte (abrazaderas, tornillos, soldaduras, etcétera)
- Estatus de la parte (en producción, obsoleta, solo en bodega, etcétera)
- Descripción de ingeniería de la parte
- Modificaciones sobre el componente (maquinados, reducciones, composturas, etcétera)
- Partes adicionales para su instalación y funcionamiento (sellos, componentes de enfriamiento, sensores, etcétera)
- Consumibles

74320004		7F UNK TP ASSY		0702 TRANSITION PC ASSEMBLY, COMBUSTION		74320004	
General		BOM		Where Used			
Part Attributes				Supersedure		Material and Coating	
Supersedure		AE Recommnd Replcmnt	114E5004	Aft Frame Material	N26	H Block Material	HAST
Part Status	USEABLE	Superseded (ABIT)	N/A	TP Body Material	N26	TBC Material	CLASS C
Copics Desc	7FA TRAN. PC. CLASS C	Superseded (BMEC)	N/A	Fwd SL_FlowSL Otr	ALUMINIDE COATING	Fwd SL_IS Innr Wear	UNCOATED
Drawing	74320004	Superseded (DWG)	N/A	Fwd SL_IS Otr Wear	ALUMINIDE COATING	TBC Coating Area	0.0
MLI	0702 TRANSITION PC ASSEMBLY, COMBUSTION	Part Status	USEABLE	Wear Coating Type	1		
Component	Transition Piece						
Drawing Level	Assembly						
Product Line	Gas Turbine						
Stage	Unknown						
System	Combustor						
Technology Class	7F Series						
Key Features				Dimensions			
Aft Frm Cooling Dsgn	YES	Aft Pin CL_TP Exit	7.8	Fwd Mnt_Aft Brkt -A-	22	Rw 0 Diam of Holes	0.5
Aft Frame Wear Prot	YES						
Aft Mount Design	CYLINDER						

Figura 4.6. Ejemplo de una aplicación informática de GE con datos de un componente. Estos datos se recopilan y analizan de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.



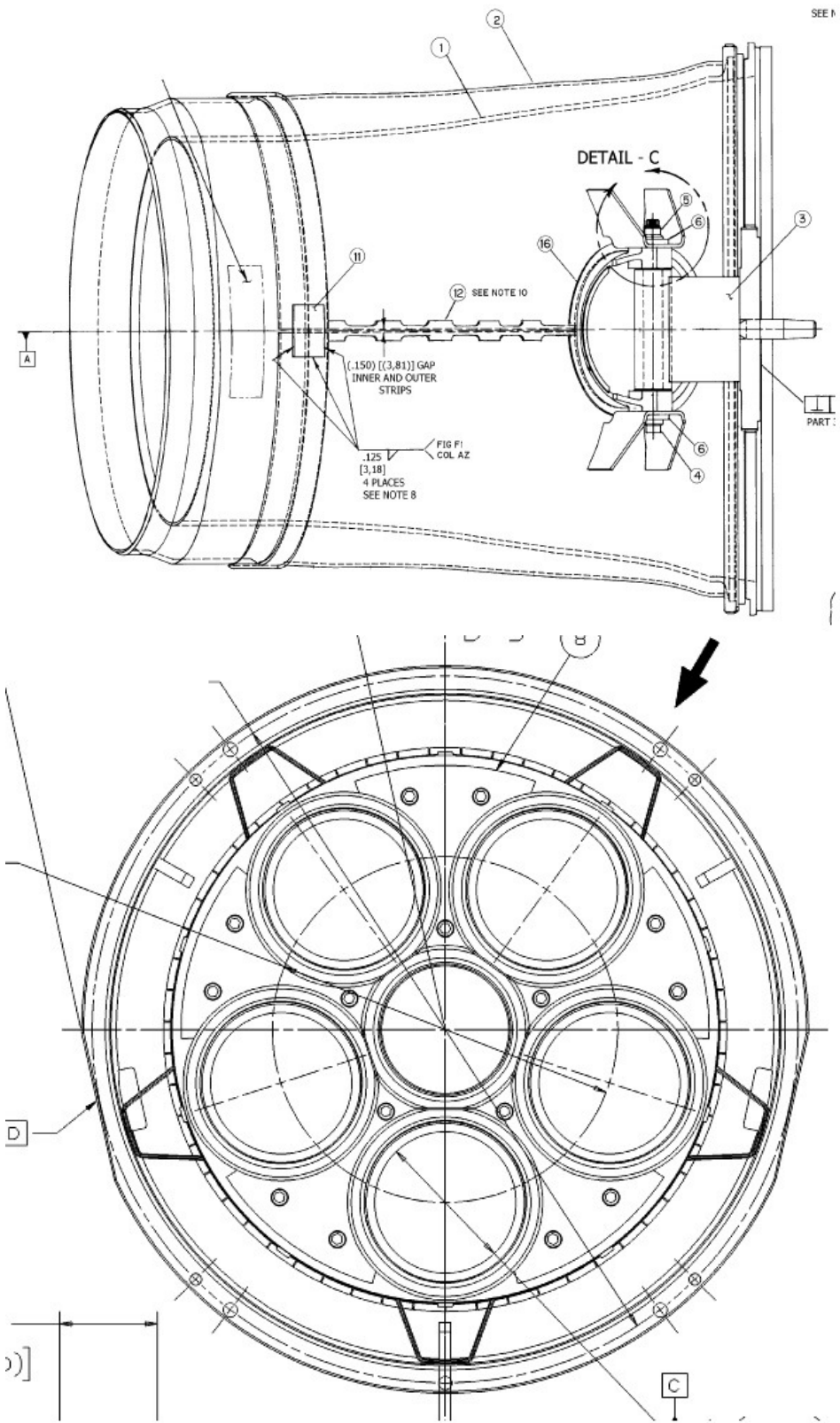


Figura 4.7.1, 4.7.2 y 4.7.3 Dibujos técnicos de los componentes críticos para la modificación. Estos se comparan entre si y se analizan para corroborar que sean compatibles en tamaño, forma y función.

Esta es la parte más compleja y crítica del proceso, ya que cada turbina tendrá características propias. El IA deberá analizar y comparar cuidadosamente los datos que obtenga, ya que puede haber muchos factores que determinen la parte necesaria para el cambio.

En este caso se tuvo que verificar principalmente la compatibilidad de los siguientes aspectos:

- Sistemas de anclaje
- Soldaduras
- Áreas de la descarga de los gases
- Sellos
- Materiales
- Desfase en los conductos de enfriamiento
- Interacción con la salida de la pieza de transición y la entrada de la primera tobera.
- Combustible
- Tamaño

Una vez recopilados los datos, documentos y dibujos; retroalimentación con los expertos, ingenieros de diseño y dibujantes; y verificar que no se necesitan estudios adicionales, el análisis reportó que la modificación es factible para la turbina en cuestión, ya que todos los componentes necesarios pueden ser instalados y las modificaciones realizadas.

Realización de la propuesta técnica

En esta parte se describe la realización de los puntos del 7 al 10 de la metodología.

Una vez que el IA comprueba que la modificación es realizable y aportará los beneficios que se esperan, se procede a verificar que el cliente aún requiere la oferta y que no ha habido cambios en lo que se ha solicitado, entonces se empieza con el desarrollo de la propuesta técnica y la lista de componentes.

El primer paso es realizar una segunda búsqueda en las bases de datos y aplicaciones de GE para recopilar información acerca del cliente con el fin de hacer una propuesta personalizada (Figura 4.8).

CARLOS DE LA MATA
Responsibility Level Chg

UNIT VIEW

[Click for printer friendly version](#)

Global HQ: 809133
HARDEE POWER
9950 PRINCESS
TAMPA, FL
UNITED STATES

Domestic HQ: 809133
HARDEE POWER
9950 PRINCESS PALM AVE
TAMPA, FL
UNITED STATES

Regional HQ: 809133
HARDEE POWER
9950 PRINCESS PALM AVE
TAMPA, FL
UNITED STATES

Customer: CAT22
INVENERGY, LLC
Street: 790 PETROLIA LINE
ST. CLAIR
City, St: CORUNNA, ON
Country: CANADA

Postal Code: N0N 1G0
Phone: 81331

Station Name: CAN 1
Cycle Type: Simple Cycle
Stag Code: -----Select-----
Industry: Electric Utility/IPP/NUG
Segment: Non-Regulated - PPA Signe

IPS #: 912
Unit #: 1

URL:

Equipment Data

Technology: HD Gas	Equip. Code: 71FA+E	Equip. Model: PG7241FA	Rating: 172 Megawatts	RPM: 3600	Control System: Speedtronic Mark V/TMR
Nameplate: 997889	Manufacture Location: GE Greenville	Combustion System: DRY LOW NOX 2.6	Diluent: --- Select ---	Augm: --- Select --- ppm	Protection: --- Select ---
GE S/N: 997889	Til Distribution	Mach.MGT.: ----- Select -----	Transducer: ----- Select -----	MPL/PL/	7A1WFA

Figura 4.8. Ejemplo de una aplicación informática de GE con datos del cliente, la turbina y el sitio donde se encuentra.

Recordemos que el lugar donde se encuentra la turbina es importante, ya que existen factores como el clima del sitio, el ciclo en el que trabaja la turbina, la utilización, los megawatts que produce, etcétera, que pueden repercutir en el desempeño de la modificación e incluso determinar si es utilizable o no.

La propuesta se realiza en un editor de texto informático y se envía al cliente en forma de archivo, de tal manera que el pueda consultarlo en una computadora o imprimirlo las veces que considere necesario.

El documento inicia con un cuadro de datos que incluye los datos principales de la propuesta (Figura 4.9):

- Número de identificación de la propuesta
- Nombre del cliente y país donde se encuentra
- Número de serie y modelo de la turbina
- Título de la propuesta
- Tiempos estimados para la realización de la propuesta
- Ingenieros asignados
- Fecha de realización de la propuesta

Technical Proposal Routing Sheet

Tracking Number		PRL	Level	PEDS Codes	
PR4207666		4	2	CRL, FRJ, T7K	
Customer Name		Request for: 24K Extended Interval Combustion Hardware			
CANADA POWER					
Turbine Serial Number(s)		References for CSE, EPDR, LCB, etc.		Country	
997898				CANADA	
Turbine Model	#Units	Estimated Engineering Effort		Cycle Time ARO	
71FA+E	1	Engineering	172.0 hours	Design	8.0 weeks
Initiated By		Drafting	128.0 hours	Material	37.0 weeks
Sales Engineer				Total	37.0 weeks
Sales/CPM		Commercial Manager		Application Engineer	
Field Engineer				de la Mata, Carlos	
RFQ #		S-to: WB_2796-AD_4478		Application Engineer Manager	
PR4207666		B-to: WB_5184-7847		F Class Team Manager	
Revision History					
Date	ICN	Description			
Nov 11, 2008	PR4207666	Created			

Figura 4.9. Tabla de datos de la propuesta técnica.

Seguida de una tabla donde se expone de manera condensada lo que se ofrece en la propuesta (Figura 4.10):

BOMS and Items Proposed

Item	Description
1	Required: Engineering only for 24K-EI hardware
2	Required: New 24K Combustion Hardware: <ul style="list-style-type: none"> - Cap Assembly - Transition Piece assembly - Liner arrangement - Flow Sleeves - Transition Piece Arrangement - Combustion Chamber Arrangement Hardware (No Flow Sleeves and Crossfire Tubes)
3	Required: TTKX Coefficient Adjustment
4	Optional: Cold Side Pipe/Flange Weld Upgrade (Optional)
5	Required: 7FA+e Bellows Crossfire Tube

Figura 4.10. Tabla de componentes ofrecidos en la propuesta

Dependiendo del tipo de propuesta y los requerimientos del cliente, se añadirá información adicional al documento.

En este caso el cliente requirió también un alista de las partes del sistema de combustión que pueden ser reemplazadas de manera directa, es decir sin estudio alguno de ingeniería.

Se anexan además notas concernientes a los equipos comerciales y de requisiciones, en caso de que la propuesta sea aceptada y se convierta en una orden de compra (Figura 411).

MLI	Current part	Replacement part	Description
0513	114E5022	11992G014	ARRGT. FUEL NOZZLE-GAS
0701	11688G004	1688G016	CHAMBER ARRANGEMENT-COMB
0701	115E1G001	119E4001	7FA+E FLOW SLEEVE ASSY
0701	1141P001	218D001	TUBE, INNER CROSSFIRE
0701	6142P001	D8045P001	TUBE, INNER CROSSFIRE
0701	233C5001	Not Available*	TUBE, OUTER CROSSFIRE
0702	1145697G	Not Available	7FA TRAN. PC. CLASS C
0703	352B002	Not Available	LINER ARRANGEMENT
0717	986E0010	986E03110	TRANSITION PIECE ARR-COMB
0722	56E11003	51129G007	CAP ASSEMBLY

*BOM 10 quotes the new design 7FA+e Bellows Crossfire Tubes.

Notes to Requisition and commercial teams:

- Item 1 (Requisitions Engineering support) and Item 8 (TTKX coefficient) MUST be converted as part of this proposal for the 24K combustion hardware upgrade regardless if the hardware is repaired or ordered as new.
- The scope of supply contains only hardware scope and does not include Service Shop or field installation costs. Sales should obtain a quote for shop and field work separately from a qualified GE service shop or Power Services as this is not accounted for in this sourcebook offering.
- Material cycle time is based on the longest listed lead-time of all cost sheet components as determined from GE Energy Parts posted.
- It is recommended the customer upgrade the fuel nozzle endcover piping welds. Customer currently has an older design fuel nozzle endcover installed, which is at risk for diffusion weld pipe cracking. BOM 9 contains the hardware required to address the endcover pipe cracking. The services for this upgrade can be performed at a GE I&RS service shop and is optional. Please see TIL 106 for additional details.
- The customer can install the 24 K hardware for one interval and return to the original hardware for the next one. In this case the hardware has to be entirely changed (caps, liners, transition pieces and flow sleeves).

Figura 4.11. Lista de partes reemplazables de manera directa y notas concernientes a la propuesta técnica

Este primer segmento de la propuesta va enfocado a los equipos comerciales y muchas veces no se muestra al cliente, por lo que se elabora una segunda portada, seguida de una breve descripción del producto y el índice (Figura 4.12).



Table of Contents	
Executive Summary	5
Table of Contents	6
Section I	7
Customer Request and Offer Summary	7
Benefits	7
Control System	7
Performance Effect	7
Maintenance Effect	7
Non-GE Scope	7
Emissions Effect	8
Installation Activity Required [Not Included in the Proposal Scope]	8
GE Publications	8
Section II	9
Schedule	9
Proposal Basis	9
Items Proposed	9
Appendix 1 - Technical Assumptions	13
Original Manufacturing Information	13
Site Information	13
Present Configuration	13
Previous Requisitions	14
Appendix 2 - Product Descriptions	15
24K Extended Interval Combustion System (CR3L - REQUIRED)	15
Cold Side Pipe / Flange Weld Upgrade (optional)	16
TTXX Coefficient Adjustment (FTX - REQUIRED)	17
BELLOWS OUTER CROSSFIRE TUBE (FR2J)	21

Figura 4.12. Portada e Índice de la propuesta técnica.

Después se inicia con la Sección I de la propuesta, aquí se dará una explicación más detallada de lo que el cliente solicita y lo que GE ofrece en respuesta, así como una descripción de los aspectos principales de la modificación y como afectarán el desempeño de la turbina:

- **Beneficios**
- **Sistemas de control**
- **Efecto en el rendimiento**
- **Efecto en el mantenimiento**
- **Aspectos del cambio no proporcionados por GE**
- **Efecto en las emisiones**
- **Evaluación del generador**
- **Equipo adicional**
- **Opciones de Manufactura**
- **Actividad de instalación requerida**
- **Información del sitio**
- **Publicaciones de GE relacionadas con el cambio**

Dependiendo de los requerimientos de la propuesta, solo se añadirán las descripciones que sean necesarias o que el cliente haya pedido expresamente (Figuras 4.13 y 4.14).

Section I

Customer Request and Offer Summary

ST CLAIR POWER, LP has requested a quote for DLN 2.6 EICS 24K combustion hardware.

This proposal scope includes the new 24K Extended Interval (EI) combustion hardware, Requisitions Engineering support, the required TTKX coefficient modification and optional fuel nozzle endcover modifications.

The unit is a 7FA+e (7241) gas turbine (SN 297883) configured with 12K DLN 2.6 combustion hardware. The unit was shipped in 2001 and operates in simple cycle.

Benefits

The 24K Extended Interval (EI) Combustion upgrade Increases the interval between combustion inspections for 7FA+e DLN 2.6 (7241) units operating dry or with steam injection from the current 8000 or 12,000 factored hour CI to 24,000 factored hours. The DLN2.6 Extended Interval System is designed to address durability issues, which prevent 24,000 factored hours of operation without a combustion inspection.

Other benefits include:

- Addresses effusion plate cracks, oxidation, hula seal wear, liner aft-end cracking, LCF failures, braze seal leaks and transition piece (TP) creep distortion.

The cold side pipe flange/weld upgrade helps to alleviate weld stresses

Implementing the bellows design outer cross fire tube offers the following benefits to the customer:

- Reliability improvements due to improved component capability.
 - Reduce leakage and gas turbine compartment temperature.
 - Availability improvement due to reduction in outage time.

For 7FA+e DLN units, the bellows crossfire tube design has a 24,000 factored hour / 800 factored starts inspection and replacement interval at this time.

Control System

No change to the turbine controls.

Performance Effect

No change to the turbine performance.

Maintenance Effect

- 24,000 hours operation on gas fuel between Combustion Inspections

Information concerning maintenance, including hours based and starts-based inspection intervals, may be found in GE publication GER-3620K.

http://www.gepower.com/prod_serv/products/tech_docs/en/f

Non-GE Scope

GE limits its responsibility to the turbine base and GE provided skids. Because of possible interferences, GE does not assume responsibility for interconnecting wiring/cabling/conduit or interconnecting piping or foundation work, unless specifically offered.

Emissions Effect

This modification has no effect on emissions.

Installation Activity Required [Not Included in the Proposal Scope]

This quote covers only material-related scope, control system modification scope and necessary requisition management costs. Any work to be performed in a GE Energy service shop must be quoted by GE Energy Inspection and Repair Services (I&RS). Any work to be performed at the customer site must be quoted by Power Services.

GE Publications

Use the following relevant GE documents located online for your use at

http://www.ge-energy.com/prod_serv/proden/all_qers.htm

GER-3620K -- Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations

http://www.gepower.com/prod_serv/prs/en/downloads/qer3620k.pdf

GER3568G -- Dry Low NO_x Combustion Systems for GE Heavy Duty Gas Turbines

http://www.gepower.com/prod_serv/products/qer3568g.pdf

Figuras 4.13 y 4.14. Sección 1 de la propuesta, donde se especifica de manera concreta los principales aspectos de la modificación y el efecto que tendrá en la turbina.

En la segunda sección se explican las bases bajo las que la propuesta se ofrece al cliente, así como la lista de las partes que ya se incluyó anteriormente para los equipos comerciales (Figura 4.15).

En este caso las bases de la propuesta fueron:

- La propuesta solo incluye las partes necesarias para el cambio.
- La propuesta no incluye un examen de verificación de emisiones.
- La propuesta no incluye dirección técnica o de trabajo.
- Un técnico de GE debe estar presente durante la instalación de la actualización o el cambio de controles. Tampoco se incluye modificación en taller de las partes instaladas actualmente.
- La propuesta técnica es válida por 120 días después que el ingeniero de aplicaciones la entregue. La propuesta comercial podría expirar antes.

- La propuesta está basada en la configuración de la turbina documentada por el IA en los apéndices. Si la información proporcionada por el IA es incorrecta, la propuesta es inválida (el ingeniero de campo siempre deberá comparar la información con los registros de la turbina, ya que ocasionalmente se pueden presentar errores en las bases de datos).

Section II

Schedule

See the table below for the time required for parts shipment after the receipt of the order.

Proposal Basis

- This is a parts only proposal.
- This proposal does not include testing for verification of the emissions.
- This proposal does not include labor or technical direction. A GE Technical Advisor must be present during the outage in which the upgraded parts are installed or the controls modified. This proposal does not include any shop work for modifying existing hardware.
- This technical proposal is valid for 120 days after being issued by GE application engineering. The validity expiration of the commercial proposal may be sooner. See below.
- This proposal is based on the assumptions of the turbine configuration as documented by the application engineer in the appendix. If the applications engineer's assumptions are incorrect, then this proposal is invalid.

Items Proposed

In the table below, GE proposes items for sale for the turbine serial number(s) stated above.

The following Item(s) are for a single gas turbine.

Item	Description	Related BOMs	Total Cycle (weeks)	Price
1	Required: Engineering only for 24K-EI hardware	BOM 1	12	
2	Required: New 24K Combustion Hardware: <ul style="list-style-type: none"> - Cap Assembly - Transition Piece assembly - Liner arrangement - Flow Sleeves - Transition Piece Arrangement - Combustion Chamber Arrangement Hardware (No Flow Sleeves and Crossfire Tubes) 	BOM 2 To 7	37	
3	Required: TTKX Coefficient Adjustment	BOM 8	13	
4	Optional: Cold Side Pipe/Flange Weld Upgrade (Optional)	BOM 9	12	
5	Required: 7FA+e Bellows Crossfire Tube	BOM 10	20	

Figura 4.15. Bases de la propuesta y lista de materiales

El último segmento en el cuerpo de la propuesta son los Apéndices, en estos se registra la información recopilada por el IA acerca de la turbina a la que se le hará la modificación y sobre la modificación misma.

Apéndice 1. Suposiciones Técnicas

El primer apéndice contiene datos concernientes a la turbina, éstos proporcionan información que ayudará a los equipos comerciales y de campo para proseguir con la modificación, se divide en cinco segmentos (Figura 4.16):

1. Información de la manufactura original
2. Información del Sitio
3. Configuración actual
4. Requisiciones previas

Appendix 1 – Technical Assumptions

Based on research of the unit records and the recent EDMs, the following configuration tables are provided for documentation of the basis of this proposal. If any of the information is incorrect, please notify your GE representative.

Original Manufacturing Information

Serial Number(s)	997898
Design Memo(s)	GR38
Material List(s)	ML-7AA368-1
Manufacturer	GE Greenville
Ship Year	10/16/2001

Site Information

Market Segment Power Generation, Industrial, etc	Electric Utility/IPP/NUG
Operation Cycle Simple, Combined, or Cogeneration	Simple
Operation Schedule Base load, Peaker, Cyclic	Peaker
Performance Basis	
Altitude	629 ft
Minimum Ambient Temperature	-20 °F
Design Ambient Temperature	85 °F
Maximum Ambient Temperature	102 °C
Relative Humidity	50 %

Present Configuration

Inlet/Exhaust	
Inlet Pressure Drop	Not Available
Inlet Conditioning None, Egg Cooler, Chiller, etc.	Chiller
IBH System	Yes
Exhaust Pressure Drop	15.3 in H2O
Combustor	
System DLN 2x, IGCC, MNQC, etc.	DLN 2.6
Fuel(s)	Natural Gas
Diluent Injection / Purpose None, Water, Steam / NOx abatement, Power Augmentation	None
Control	
Generation	Speedtronic Mark V / TMR

Combustion		
0513	ARRGT. FUEL NOZZLE-GAS	114E56022
0701	CHAMBER ARRANGEMENT-COMB	11488G004
0701	7FA+E FLOW SLEEVE ASSY	115E8G001
0701	TUBE, INNER CROSSFIRE	6141P001
0701	TUBE, INNER CROSSFIRE	19442P001
0701	TUBE, OUTER CROSSFIRE	233C501
0702	7FA TRAN. PC. CLASS C	114E5002
0703	LINER ARRANGEMENT	4215G002
0717	TRANSITION PIECE ARR-COMB	986G010
0722	CAP ASSEMBLY	5629G003

Previous Requisitions

FDM	Title
9345	FACTORY RE-BUILD AFTER TRAIN COLLISION
56223	HMI Upgrade
8905	CDM w/RDLNT

Figura 4.16. Información de la turbina necesaria para hacer la modificación, en este caso se incluye la configuración actual del sistema de combustión que es el que será modificado.

Apéndice 2. Descripción del Producto

El apéndice 2 es una de las partes más importantes del documento, ya que es donde se proporciona una descripción más detallada del producto. Aunque es en principio una descripción técnica, tiene que ser lo suficientemente clara para que el cliente, aún con conocimientos limitados de ingeniería, la pueda entender.

Normalmente esta sección se compone de cinco segmentos que también pueden ser omitidos o cambiados de acuerdo a las especificaciones de cada propuesta (Figuras 4.17 y 4.18):

1. Revisión técnica.
2. Beneficios.
3. Alcance de los suministros.
4. Actividad de instalación requerida (no se incluye en la propuesta).
5. Información del sitio.

Appendix 2 – Product Descriptions

24K Extended Interval Combustion System (C3L - REQUIRED)

Technical Description

Combustion hardware design improvements have been implemented which can increase the interval between combustion intervals for 7FA+e DLN 2.6 (7241) units operating dry or with steam injection from the current 8000 or 12,000 factored hour CI to 24,000 factored hours. The DLN2.6 Extended Intervals System is designed to address durability issues, which prevent 24,000 factored hours of operation without a combustion inspection. Specifically, the design addresses issues such as effusion plate cracks, oxidation, hula seal wear, liner aft-end cracking, LCE failures, braze seal leaks and transition piece (TP) creep distortion.

The new design consists of component improvements to enhance the robustness of the system, utilizing advanced analytical techniques to optimize and validate the design. Examples include the Computational Fluid Dynamics (CFD) and Finite Element Analysis (FEA) assessment and optimization of the swirled, endcover and cap, as well as the liner flow sleeve thermal improvements stemming from an enhanced cooling design ("thimbles"). Similarly, the TP design has been improved with a new, integrated mount attachment and optimized impingement-sleeve cooling scheme. Coating material developments are also a key to the design improvements.

The increased thermal protection afforded by the use of "Super B" Thermal Barrier Coating (TBC) has been included in both the liner and TP to improve material capability.

Enhanced wear coatings, which have been added to the new, double "hula" seal liner, cap and TP, combined with the use of improved cloth seals, will reduce the amount of fretting wear and therefore extensive repair, typically needed on these components at HGP inspection.

TTKX Coefficient Adjustment (F7K - REQUIRED)

Executive Summary

The TTKX coefficient is a control constant that corrects for the fact that the gas turbine exhaust temperature is measured at only one immersion depth. Since the exhaust thermocouples are not necessarily positioned at a point to accurately measure the mean temperature of the exhaust flow, exhaust temperature is corrected by multiplying the individual thermocouple readings by the TTKX coefficient, TTKXCOEF. The TTKX coefficient is calculated using exhaust temperature rakes. The rakes allow performance engineers to map the exhaust temperature's radial profile and calculate its mean. Once that process is complete, the appropriate TTKX coefficient for a turbine frame can be determined and applied to all subsequent units with a similar configuration. The TTKX Coefficient in this sourcebook article only affects baseload operation.

Technical Overview

Fuel flow and firing temperature are driven by a control curve for a specific exhaust temperature based on compressor pressure ratio. Exhaust temperature rake data taken during Op Flex deployment demonstrated that, for 7FA+e units with 12k EL and 24k extended interval combustion systems, the radial profile of the exhaust flow had changed from what was observed on 7FA+e units with 8k and 12k standard combustion systems. The exhaust temperature profile shift is due to a modified transition piece (TP) design to integral mount. The new TPs are used on all 12k EL and 24k extended interval combustion systems.

BELLOWS OUTER CROSSFIRE TUBE (F2J)

Several Gas Turbines units have experienced elevated turbine compartment temperatures during operation. In some cases, the temperature increase is enough to trigger an alarm and even worse could potentially trip the unit for a forced outage. One of the root causes noticed for the increased compartment temperatures is hot compressor discharge air leakages in the combustion cross fire system, attributed to degradation of the packing ring material over time.

(See Figure 1).



Figure 1: Current Configuration (Packing Seal Design)

This issue led an engineering effort to redesign the outer crossfire tube system. The new design is a metal bellows outer crossfire tube targeted at providing hardware with improved reliability at reduced installation cost compared with the original packing seal design. Upon implementation of the new cross fire tube design, customers benefit from improved availability, improved reliability, and increased inspection interval. The bellows design also facilitates reduced part count and introduces reductions in assembly time and field service costs.

Figuras 4.17 y 4.18. Fragmentos del Apéndice II de la propuesta técnica, donde se desarrolla más a fondo el cambio o modificación que se realizará.

Apéndice 3. Material Suplementario

En este último apéndice se añaden documentos, referencias, páginas de Internet y cualquier información que sea esencial para la implementación de la modificación.

Para esta propuesta en particular no se consideró necesario añadir material extra.

Aunque este es el cuerpo estandarizado de una propuesta y normalmente no sufre cambios significativos, se pueden hacer omisiones, adiciones o cambios en el documento con el fin de que sea más comprensible para el cliente o mejore la información que contiene. El tamaño y cantidad de páginas en el documento es variable y dependerá de la complejidad de cada propuesta en particular.

Una vez que se ha completado el documento, el siguiente entregable es crear la lista de partes y materiales necesarios para hacer la modificación y que dependerán del estudio previo realizado en la configuración de la turbina.

Cómo se mencionó anteriormente, para lograr esta actualización en el sistema de combustión se necesitaba el reemplazo de varios de sus componentes. De acuerdo a los datos recopilados sobre la actual configuración del sistema de combustión de la turbina, los componentes adecuados para hacer la actualización a 24K horas de intervalos inspección se muestran en la Figura 4.19 tal y como son almacenados en la base de datos de GE.

Esta lista incluye las partes principales, los consumibles, la cantidad necesaria de cada uno de ellos y las horas aproximadas de ingeniería que son necesarias para realizar el cambio y hacer los registros pertinentes en las bases de datos.

BOM #	Item No	ML Item No	P/S	DWG#/Cost Estimate	ERP Description	GC Comments	Qty Per Unit
Engineering only for 24K-EI hardware							
1	1	2	Valid	ENGINEERING HOURS	ENGINEERING HOURS		100
1	2	3	Valid	DRAFTING HOURS	DRAFTING HOURS		60
Cap Assembly							
2	1	3	Valid	DRAFTING HOURS	DRAFTING HOURS		10
2	2	722	Valid	586E1108	CAP ASSEMBLY, COMBUSTION		14
2	3	2	Valid	ENGINEERING HOURS	ENGINEERING HOURS		10
Transition Piece Assembly							
3	1	702	Valid	1299G005	71FA TRANSITION PC ASSY		14
3	2	2	Valid	ENGINEERING HOURS	ENGINEERING HOURS		10
3	3	3	Valid	DRAFTING HOURS	DRAFTING HOURS		10
Liner Arrangement							
4	1	3	Valid	DRAFTING HOURS	DRAFTING HOURS		10
4	2	2	Valid	ENGINEERING HOURS	ENGINEERING HOURS		10
4	3	703	Valid	119E7G001	7FA+E SUPER B LINER		8
4	4	703	Valid	119E7G002	7FA+E SUPER B LINER		2
4	5	703	Valid	119E7G003	7FA+E SUPER B LINER		4
Flow Sleeves							
5	1	2	Valid	ENGINEERING HOURS	ENGINEERING HOURS		10
5	2	3	Valid	DRAFTING HOURS	DRAFTING HOURS		10
5	3	701	Valid	119001	7FA+E FLOW SLEEVE ASSY		14
Transition Piece Arrangement							
6	1	3	Valid	DRAFTING HOURS	DRAFTING HOURS		10
6	2	2	Valid	ENGINEERING HOURS	ENGINEERING HOURS		10
6	3	717	Valid	119E18001	CLAMP, SUPPORT		14
6	4	717	Valid	5594G001	RETAINER, ASSY		14
6	5	717	Valid	31872P001	LOCK PLATE		14
6	6	717	Valid	2249P001	TP LKPLATE		21
6	7	717	Valid	224B9702	TP LKPLATE		21
6	8	717	Valid	1916P022	TP BOLT		28
6	9	717	Valid	199D3G001	SIDE SEAL ASSY, CLOTH		14
6	10	717	Valid	26733P003	TP BOLT		42
6	11	717	Valid	318A98002	LOCKPLATE		14
Combustion Chamber Arrangement Hardware (No Flow Sleeves and Crossfire Tubes)							
7	1	701	Valid	N25010	SCREWSOCHD		56
7	2	701	Valid	360A72001	GASKET		14
7	3	701	Valid	N73048	ALY STL 12PT SCREW		350
7	4	701	Valid	287A14P002	RING PACKG		56
7	5	701	Valid	199C47002	FLANGE, SEALING RING		28
7	6	701	Valid	N129018	HX HD CAP SCR & BOLT		168
7	7	701	Valid	39713P027	GASKET		3
7	8	701	Valid	N733036	ALY STL 12PT SCREW		8
7	9	701	Valid	N4000017	WASHER, PLAIN		8
7	10	701	Valid	16146P001	STOP,LINER ANTI-WITHDR		28
7	11	701	Valid	N646008	SCREW, CAP FLAT HEX		28
7	12	701	Valid	3602P001	REDUCING UNION CONN.		14
7	13	701	Valid	324875P001	SUPPORT, PROBE		14
7	14	701	Valid	230C3802	FLANGE, BLIND		1
7	15	701	Valid	N400018	WASHER, PLAIN		20
7	16	701	Valid	N7335032	ALY STL 12PT SCREW		16
7	17	701	Valid	3159P010	GASKET		4
7	18	701	Valid	233C2G001	SIGHT TUBE ASSY FLAME DET		4
7	19	701	Valid	N733A028	BOLT 12 PT		4
7	20	701	Valid	21844P001	TUBE, INNER FEMALE X-FIRE		14
7	21	701	Valid	21D80451	TUBE, INNER MALE X-FIRE		14
TTX Coefficient Adjustment							
8	1	A010	Valid	ENGINEERING HOURS	ENGINEERING HOURS		12
8	2	A010	Valid	DRAFTING HOURS	DRAFTING HOURS		8
8	3	A010	Valid	FT1FA2-	THREE PIECE CONTROL CURVE	3-Piece Control Curve	1
Cold Side Pipe/Flange Weld Upgrade							
9	1	513	Valid	357BP001	COLLAR, TUBE-COVER		14
9	2	513	Valid	355P001	TUBE		28
9	3	513	Valid	223C29001	PLUG,ORIFICE		700
9	4	513	Valid	3852P001	COLLAR, TUBE-COVER		14
9	5	513	Valid	38498P001	TUBE,ATOMIZING AIR		14
9	6	513	Valid	357B3001	TUBE, COLLAR		14
9	7	513	Valid	X0006BX015-0X	SLIP ON FLG, RF, 300 LB		14
7FA+E Bellows Crossfire Tube							
10	1	701	Valid	1990G001	ASSY-CROSS FIRE BELLOWS		14
10	2	701	Valid	372P001	GASKET		28
10	3	701	Valid	N1016	HX HD CAP SCR & BOLT		168
10	4	719	Valid	104C1001	INSERT		28
10	5	3	Valid	DRAFTING HOURS	DRAFTING HOURS		10
10	6	2	Valid	ENGINEERING HOURS	ENGINEERING HOURS		10
10	7	701	Valid	2046P001	RETAINER, CROSSFIRE TUBE		28

Figura 4.19. Lista de partes y materiales necesaria para hacer la modificación.

Esta lista se carga, junto con el documento de la propuesta, en la aplicación de Internet que tiene el registro del proyecto (figura 4.2), y desde aquí es enviada para su revisión con los gerentes de ingeniería o líderes técnicos que darán su aprobación antes de que sea entregada a los equipos comerciales y al cliente.

Si el revisor considera que alguna corrección o modificación, ya sea a la propuesta o la lista de materiales, es necesaria, regresará la propuesta al IA que se encargará de hacer la modificación correspondiente y mandarla de nuevo a revisión.

Una vez que los entregables han sido aprobados por los revisores, el IA recibirá un correo informándole que la propuesta ha sido completada y liberada, es aquí donde termina el proceso del IA, la propuesta técnica será anexada junto con la propuesta comercial y será enviada al cliente.

Sent: miércoles, 19 de noviembre de 2008 09:06 a.m. **INGENIERO DE APLICACIONES ASIGNADO**

To: **de la Mata, Carlos (GE Infra, Energy, Non-GE)** GE Managers

Subject: Quote number PR4207666 is complete and has been released

This is notification of the completion and release of the ENGINEER technical proposal document and Bills of Material, not the final COM proposal, for the purpose of defining scope, cost, and cycle. The Bill of Material must be processed through Parts ERP before prices can be viewed. This process will take up to 24 hours (if the Web_ID's were correct) appropriate Commercial Manager will take the engineering technical proposal document and Bills of Material to identify "Items to be sold", and to identify Legal Entity, Price, and to add in the scope and price for any necessary field work and shop work.

NOTIFICACIÓN DE QUE LA COTIZACIÓN HA SIDO FINALIZADA

Proposal PR4207666 was released on 11/19/08.

Customer: CANADA POWER
Quote For: 24K Extended Interval Combustion Hardware
USN#: 997898
No of Units: 1
Model: 71FA+E
PEDS Option Codes: CRL,F2J,FTK

DATOS DE LA PROPUESTA

Use the links below to view the proposal documents

Proposal: <http://gpslbpdm01.corporate.ge.com/Proposalservlet?icn=CQ420666&proposal=doc>

BOM: <http://gpslbpdm01.corporate.ge.com/CBServlet?icn=CQ420666>

Please contact GC Support team for any concerns.

Figura 4.20 Correo de notificación de que la cotización o propuesta ha sido terminada y liberada, con esto se considera finalizado el proceso del Ingeniero de Aplicaciones.

Una vez que la propuesta ha sido terminada, se puede dar el caso de que el cliente o el área comercial requieran un cambio en el documento y/o la lista de materiales, en este caso se puede pedir una revisión de la cotización. El IA recibirá de nuevo los entregables para hacer las modificaciones correspondientes. Se

pueden solicitar tantas revisiones como sean necesarias, sin embargo si los nuevos requerimientos difieren mucho de la cotización original, se recomendará al cliente abrir un nuevo proyecto.

Si el cliente desea convertir la propuesta conjunta en una orden de compra, es posible que el IA siga participando en el proceso para brindar información y apoyo sobre la actualización u otros aspectos de la propuesta. El IA tiene la obligación de dar un seguimiento continuo y permanente a cualquier proyecto en el que haya participado.

Capítulo 5. Análisis e interpretación de los resultados del trabajo del Ingeniero de Aplicaciones.

En el capítulo anterior se expuso la realización de una propuesta técnica para la actualización de una turbina de gas. Si bien esta actividad representa la mayor parte de las responsabilidades del IA, no es la única, existen otras igual de importantes y que se exponen a continuación.

“Plant Assessments supporting documents” (Documentos de soporte para las valoraciones de planta)

El Plant Assessment o Valoración de Planta es un extenso estudio de las condiciones de operación de un sitio o planta de algún cliente de GE, ya sea por recomendación de la compañía o por solicitud explícita del cliente.

Este estudio tiene como objetivo proveer a GE de información de primera mano sobre sus turbinas operables y encontrar áreas que pueda aprovechar para mejorar su funcionamiento y ofrecer actualizaciones.

El estudio lo lleva a cabo un ingeniero experimentado que visita la planta y, en conjunto con los ingenieros y técnicos encargados del sitio, revisa las máquinas e instalaciones y recopila datos sobre el desempeño de las turbinas. El ingeniero lleva consigo documentos de soporte que le facilitarán la valoración, estos documentos son desarrollados por los IA.

Los documentos son trabajos extensos que contienen toda la información que se tenga disponible en las bases de datos de GE sobre la planta y las turbinas sobre las que se realizará el estudio, entre las principales se encuentran:

- Información del cliente.
- Configuración completa de la turbina.
- Modificaciones.
- Información ambiental del sitio.
- Propuestas técnicas realizadas previamente.
- Descripción de las partes principales (compresor, combustor y turbina).
- Lista de reemplazos directos de las partes principales.
- Lista de problemas de operación.
- Lista de paros de operación de las turbinas y sus motivos.
- Lista de documentos relacionados.
- Lista de actualizaciones posibles de acuerdo al modelo de la turbina y su estatus (aplicada, aplicable o inaplicable).
- Información técnica de las actualizaciones que pueden ser aplicables para su ofrecimiento al cliente.

Además se añade un Estudio de Intercambiabilidad, el cuál es un análisis de los componentes principales de las turbinas en operación dentro de un mismo sitio y del mismo modelo, las partes de repuesto con las que cuenta y las partes nuevas que ofrece GE. Este estudio determina la posibilidad de intercambiar partes entre las turbinas o las partes de repuesto, así como recomendaciones sobre las nuevas tecnologías y componentes que pueden reemplazar a las partes actuales.

Actualización del Status de las Unidades y Propuestas

Los IA llevan un registro de las modificaciones y actualizaciones que se pueden aplicar o han sido aplicadas a las unidades, aproximadamente cada mes se hace una revisión de las bases de datos para mantenerlas al día.

“Sourcebooks” (Documentos fuente)

Cuando una mejora o actualización se cotiza de manera constante, se crea un Documento Fuente con fin de estandarizar la propuesta y acelerar el proceso de cotización.

Un documento fuente se realiza en un procesador de textos informático y contendrá las principales características de la actualización, así como información técnica, beneficios, datos de la instalación, notas para el cliente o los equipos comerciales y, en algunos casos, las listas de partes y materiales.

Estos documentos se incluyen en el apéndice 2 de las propuestas (referirse al capítulo anterior) y tendrán un número de registro único, el cuál se incluirá en el sistema y estará asociado a la modificación.

Estos documentos son asignados a los ingenieros que más experiencia tengan con la modificación asociada y hayan realizado varias de ellas, además que el realizador del documento tiene que actualizarlo constantemente y corroborar que siga siendo vigente, ya que las modificaciones estandarizadas también van sufriendo cambios de manera habitual.

Además de estas actividades, los IA deben de apoyar varios proyectos a lo largo del año, ya sea para ayudar a otros equipos o dentro de la misma área de ingeniería de aplicaciones. Estos pueden ser de mejora de calidad y procesos; actualización de bases de datos; apoyo a los equipos comerciales sobre la tecnología de las actualizaciones y estudio conjunto con los ingenieros de diseño para las nuevas partes, por mencionar algunas.

Además de las actividades de trabajo, el IA toma capacitaciones constantes para satisfacer las necesidades de GE y mantenerse al tanto de las nuevas tecnologías

y productos. Las capacitaciones abarcan todas las áreas en las que el IA está involucrado, como cursos para crear las propuestas; analizar dibujos; aprender cambios que hayan sufrido las herramientas informáticas o aprender a usar nuevas; conferencias para conocer los nuevos productos, partes y sistemas o las modificaciones que hayan sufrido los actuales; entrenamiento para optimizar tiempos de entrega; etcétera.

Estas capacitaciones se hacen por distintos medios, como conferencias y llamadas remotas (cuando los expertos se encuentran en otra localidad o país); presentaciones y exposiciones, visitas a las plantas donde operan las turbinas; visitas a las fábricas, evaluaciones periódicas de los conocimientos y cursos autodidactas que se hacen a través de las herramientas informáticas.

GE tiene un estricto control de la calidad de sus procesos y productos, por lo que los ingenieros deben de tomar capacitaciones para aprender a la aplicar la metodología de Seis Sigma y proponer proyectos de mejora, así como enseñanzas sobre la confidencialidad y ética laboral, ya que un IA maneja información tecnológica controlada.

Debido a que GE está en un proceso constante de creación de nuevos componentes y tecnologías que se reflejarán en actualizaciones, el IA recibe constantes entrenamientos sobre los nuevos productos, estos incluyen visitas a las plantas para ver físicamente las turbinas y sus componentes y viajes al extranjero, normalmente Estados Unidos, para recibir capacitación directa de los gerentes e ingenieros experimentados.

Apreciación personal de los resultados.

Al momento de la realización de este trabajo contaba con algo menos de 3 años y 3 meses como Ingeniero de Aplicaciones de la Clase F de Turbinas de Gas dentro de GE Energy.

Durante este periodo de tiempo he adquirido una cantidad importante de experiencia y conocimientos técnicos sobre la complejidad de operar turbinas de gas, desde sus principios de funcionamiento y operación, hasta detalles que a primera vista podrían parecer insignificantes pero que en muchas ocasiones pueden ser tan críticos para el adecuado funcionamiento de la máquina como los alabes mismos.

He aprendido además sobre los procesos de actualización y puntos importantes que mejoran el rendimiento de una turbina, tecnologías de última generación y capacidad para analizar posibles oportunidades de mejora a partir del estudio de las características, dibujos y especificaciones de la turbina y sus componentes.

Como se mencionó en capítulos anteriores, el rendimiento de una turbina depende de muchos factores, como el tiempo de uso de la turbina, las condiciones ambientales, el diseño de sus componentes o la temperatura de quemado. GE trabaja de manera constante para lograr que este rendimiento se incremente a partir de nuevos productos, tecnologías y modificaciones.

Sin embargo, a partir de mi experiencia trabajando como IA, he aprendido que existen muchos factores y variables que se tienen que tomar en cuenta para lograr este objetivo, además de que cada turbina tiene sus propias particularidades que las hacen diferentes entre si.

Así pues, una turbina puede mejorar su rendimiento al cambiar de manera total el ducto de gases calientes, lo que también acarrea un costo considerable para el cliente. Sin embargo, también se puede lograr un incremento la energía de salida realizando cosas relativamente sencillas, como el caso de cierto diseño de carcasa (ahora obsoleto) que tenía demasiados ductos de enfriamiento y descubrieron que al tapar algunos se obtenía una mejora en su rendimiento.

Estos son ejemplos de cómo un beneficio significativo no necesariamente está asociado con un cambio grande o costoso, es por eso que cada máquina debe estudiarse detalladamente con el fin de encontrar la mejor manera de beneficiarla.

Entre las principales modificaciones para mejorar el rendimiento de una turbina se encuentran:

Ducto de Gases Avanzado

Con esta actualización se reemplazan los viejos componentes por las nuevas tecnologías, con esto se logra un incremento en la energía de salida.

Esta modificación incluye:

- Cilindros de combustión y camisas de flujo con pérdidas de presión bajas.
- Tubos de cruce de fuego con fuelle.
- Manejo de la temperatura de la carcasa por controles
- Juego completo de las partes principales del ducto de gases calientes (toberas, alabes y cinchos), que incorporan mejoras en los diseños de los perfiles, los materiales y circuitos de enfriamiento optimizados.
- Incremento de la temperatura de quemado.

El incremento estimado para este cambio, bajo condiciones ISO, es:

Ciclo Combinado		Ciclo Simple		Condiciones de escape	
%TQ	%ES	%TQ	%ES	%Flujo de escape	Temperatura de escape (F)
-1.2	3.7	-2.8	5.4	-0.1	8.0

TQ=Temperatura de quemado, ES=Energía de salida.

Paquete de optimización de enfriamiento

Este paquete consiste en 5 programas individuales que sirven para incrementar la energía de salida y la temperatura de quemado al optimizar la cantidad del flujo de aire de enfriamiento.

Estos programas son:

- Cincho de la primera etapa con recubrimiento estriado. Reduce las fugas de la punta del alabe de la primera etapa al hacer un recubrimiento de alta resistencia térmica con un patrón estriado que reduce las pérdidas.
- Tubos de cruce de fuego con fuelle.
- Optimización de la extracción de flujo de aire del compresor para enfriar la tobera de la segunda etapa.
- Reducción de la purga en la tobera de la tercera etapa.
- Control de la temperatura de la carcasa.
- Combustor con pérdidas de presión bajas.

El incremento esperado para este cambio bajo condiciones ISO es:

Ciclo Simple		Ciclo combinado	
%TQ	%ES	%TQ	%ES
-1.3	1.8	-0.5	1.0

TQ=Temperatura de quemado, ES=Energía de salida.

Paquete de mejoramiento del compresor

El paquete consiste en nuevas toberas guía de entrada, alabes de la primera a la octava etapa, toberas de la primera a la octava etapa y de la catorceava a la dieciseisava etapa y la carcasa del compresor. Los componentes actualizados tienen diseños aeromecánicos mejorados, los materiales y sus tratamientos, y un mejor sistema de control durante el encendido de la máquina. Estas mejoras reducen el desgaste de las piezas, mejoran la durabilidad y reducen el riesgo de que se atasquen durante el encendido.

Optimización del ángulo de la tobera guía de entrada al compresor

Un ángulo mayor en la tobera guía de la entrada significa una mayor cantidad de flujo de aire a través compresor, resultando en una mejora en la energía de salida y, en algunos casos, en el consumo térmico.

Incremento de la energía por inyección automática de vapor

Esta mejora permite al sistema de control mandar una señal que activa o desactiva un sistema de inyección de vapor, el cuál es incorporado al flujo de aire que sale del compresor hacia la cámara de combustión. Debido al incremento del flujo másico que esto produce, se obtiene un incremento en la energía de salida, además que parte del vapor reacciona en la combustión, lo que ocasiona una reducción de los elementos contaminantes.

El incremento esperado con este cambio para condiciones ISO es:

Inyección de vapor %	Incremento en la energía de salida %	Reducción del consumo térmico %
3.5%	7.0 %	-2.7 %

Es importante mencionar que esta información es solo estimativa, cada turbina se debe de someter a un estudio exhaustivo para determinar las mejores opciones de acuerdo a sus características propias, así como determinar su viabilidad y el beneficio esperado.

De manera adicional a los conocimientos tecnológicos, he aprendido las metodologías de logística y administración que se requiere para mantener proyectos tan grandes e importantes como los servicios a las turbinas de gas de GE, que permiten mantenerla como primer lugar en su segmento, además de ser una de las secciones más redituables de esta compañía trasnacional tan importante. Considero esta parte del aprendizaje muy benéfico, ya que complementa mi educación como ingeniero con otras áreas de conocimiento y las entrelaza de una manera práctica y aplicable.

Otra parte importante han sido los conocimientos que ha sido necesario adquirir para el adecuado desempeño en esta actividad profesional, como la metodología de calidad Seis Sigma; las normas que se usan en distintas regiones del mundo como la ISO o la OWSA; un uso práctico y constante del idioma Inglés a nivel técnico y de ingeniería; las normas de control de tecnología internacionales; el uso de bases de datos informáticas y el manejo de métricas personales y por equipo, por mencionar las principales.

Por último me parece importante mencionar que en este tiempo he aprendido mucho de trabajo en equipo y relaciones personales, tanto con mis compañeros en el área de aplicaciones, como con la constante comunicación que tengo que mantener con las distintas áreas y personas, dentro y fuera de GE, alrededor del mundo.

Logros obtenidos

En el periodo transcurrido como IA he obtenido el siguiente desempeño:

- 193 Propuestas Técnicas para más de 50 compañías alrededor del mundo.
- 10 Documentos de soporte para la valoración de plantas
- Creación y administración de 2 Documentos Fuente.

Además he participado o apoyado en distintos proyectos, a continuación expongo los de mayor importancia:

Proyecto de configuración e intercambiabilidad de los componentes principales de las turbinas.

Proyecto que intenta crear una aplicación y base de datos que permita establecer de manera rápida y confiable la intercambiabilidad entre dos componentes. Se enfoca en las partes principales del compresor, el combustor y la turbina. El objetivo es conocer las propiedades críticas de forma y función que puedan determinar, en base a su comparación, si dos partes pueden ser intercambiables entre sí dentro de la turbina. Esto se logra haciendo un exhaustivo análisis de las características de cada componente por medio de sus especificaciones, principales características técnicas y dibujos.

Proyecto de actualización del Sistema de Lavado por Agua en Línea.

Este proyecto logró implementar el nuevo sistema de lavado interno para los alabes de las primeras etapas compresor, el cuál mejora la resistencia a la corrosión, lo que incrementa su rentabilidad y reduce costos de operación. Este proyecto ganó el premio "DPM" como proyecto del mes de Noviembre del 2010 (figura 5.1).

FW: DMP Challenge Awards: DMP - Project of the Month - November 2010

To: de la Mata, Carlos (GE Energy, Non-GE)

Energy Services - 70005

PROJECT TITLE: On-Line Water Wash Upgrade

PERFORMANCE OBJECTIVE: Project payback > 2% of Target

GROWTH VALUES: Clear Thinker, Expertise, and Inclusiveness



DESCRIPTION:

The customer had a credit with GE from a previous transaction. GE negotiated with the customer to apply this credit to upgrade their existing On-Line Water Wash System (OLWW) to the new redesigned model (Gen-2). This sale was enabled through product feature enhancements made by the engineering design team. This solution improved efficiency from the reduction in

compressor degradation, and for the customer resulted in increased profitability and reduced operating costs. Two OLWW systems were supplied to the customer.

GE BENEFIT:

30000

TEAM MEMBERS:

Steven P. ... g. Carlos De La Mata, and ...

Objetivos a futuro

1. Como parte de mi crecimiento personal dentro de la empresa, estoy en proceso de realización de un proyecto de calidad bajo los estándares de Seis Sigma para obtener el grado de "Green Belt", el cuál demuestra que estoy capacitado para implementar procesos de calidad con la metodología de Seis Sigma.
2. Actualmente está en proceso de aprobación mi solicitud para el siguiente grado de Ingeniero de Aplicaciones, el cuál me dará más responsabilidades

dentro de la organización y me permitirá hacer propuestas con mayor grado de complejidad.

3. A largo plazo espero obtener experiencia suficiente para aplicar como el ingeniero encargado del seguimiento de las turbinas en un sitio donde GE tenga unidades en funcionamiento. Este puesto me permitirá estar más en contacto con la ingeniería de las turbinas a nivel de campo, sin dejar de lado los conocimientos adquiridos en aplicaciones.

CONCLUSIONES

El trabajo que desempeña un Ingeniero de Aplicaciones es un engranaje importante dentro de la inmensa maquinaria de los servicios de ingeniería de GE.

Debido a las grandes cantidades de información que requieren ser administradas para el adecuado funcionamiento de una turbina de Gas, es importante que existan ingenieros que puedan conocer y manejar de manera rápida y eficiente toda esta información que, a su vez, servirá de apoyo y enlace entre las distintas áreas de la empresa, desde Ingeniería de Diseño hasta Ventas.

Si bien un Ingeniero de Aplicaciones no está en contacto directo con la maquinaria y las áreas más puramente técnicas, sus conocimientos de ingeniería son esenciales para manejar la información que en su mayoría incluye datos, definiciones y dibujos técnicos que sería imposible analizar correctamente sin la educación adecuada.

Finalmente considero que la experiencia técnica y administrativa sobre las turbinas de gas que se puede adquirir en el área de la Ingeniería de Aplicaciones es una ventaja importante para buscar oportunidades en muchas otras áreas y brinda una importante diversidad de conocimientos que difícilmente se pueden encontrar en otros lugares.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

Baskharone, Erian A., *Principles of Turbomachinery in air breathing engines*, USA, Cambridge, 2006.

Cengel, Yunus A. y Boles Michael A., *Termodinámica*, México, McGraw Hill, 5ª Ed, 2007.

Manuales

Introducción a centrales termoeléctricas, México, Comisión Federal de Electricidad, 2005.

New Application Engineer Handbook, GE Energy, 2010.

Internet

www.axiem.com.mx

http://www.gepower.com/prod_serv/products/gas_turbines_cc/en/f_class/index.htm

<http://www.masterdisseny.com/master-net/estudios/Modelos%20administrativos,%20Outsourcing%20y%20Benchmarking.pdf>

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/management_standards/iso_9000_iso_14000/iso_9000_essentials.htm

http://www.isixsigma.com/index.php?option=com_content&view=article&id=201&Itemid=27

<http://www.cadhelpcenter.com/2010/02/04/definition-of-cadcamcae/>

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/jimenez_p_a/capitulo2.pdf

[http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Turbofan_operation_\(lbp\).png](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Turbofan_operation_(lbp).png)

<http://www.videolife.tk/nozzle%20CFD/>

<http://www.f1technical.net/forum/viewtopic.php?f=4&t=6508&start=795>

<http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/magnet/generador.html>

http://www.uamerica.edu.co/tutorial/4turgas_text1_4.htm#

<http://www.todomonografias.com/fisica/ciclo-de-brayton/>

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642005000100007&script=sci_arttext

<http://www.globalspec.com/reference/3344/single-crystal-materials>

http://www.gepower.com/prod_serv/products/gas_turbines_cc/en/h_system/index.htm

<http://www.scribd.com/doc/19440851/CELDAS-UNITARIAS->

http://vishnu-mechblog.blogspot.com/2008_06_01_archive.html

http://www.mhi.co.jp/en/products/category/gas_turbin.html

http://www.power.alstom.com/home/new_plants/gas/products/gas_turbines/39930.EN.php?languageId=EN&dir=/home/new_plants/gas/products/gas_turbines/

<http://www3.toshiba.co.jp/power/english/thermal/index.htm>

<http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-generation/gas-turbines/>

http://www.gepower.com/about/press/en/2009_press/102709.htm