

Estudio conceptual para la implementación de Diverters automáticos en una central a gas de ciclo combinado

Recibido para evaluación: 28 de Abril de 2005
Aceptación: 26 de Jun de 2005
Entrega de versión final: 02 de Dic de 2005

Esteban Hincapié Gómez.¹
Horacio Sierra Restrepo.²

RESUMEN

Se presenta un estudio básico sobre dampers diverters mecánicos y automáticos como punto apoyo a la posible implementación de dispositivos automáticos en la central Termoeléctrica La Sierra de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Se describe brevemente el funcionamiento y los componentes de una central a gas de ciclo combinado. Se identifican diferentes tipos de dampers y su papel en las centrales termoeléctricas. Se recopila información sobre diferentes aspectos tanto de los dispositivos mecánicos y automáticos, incluyendo, experiencias, componentes y el sistema de sello. Finalmente, se proponen especificaciones para la posible adquisición como también las ventajas de la implementación.

PALABRAS CLAVES: Diverter, damper, termoeléctrica, ciclo combinado

ABSTRACT

It is presented a basic study about automatic and mechanic dampers diverters, as a help for the possible installation of this devices in La Sierra Combined Cycle Power Plant of EPPM. The process and components of Combined Cycle Power Plants are described shortly. Different kinds of dampers are studied and their rôle in thermoelectric power plants. Some aspects of the automatic and mechanical devices are analyzed, included experience, components and the seal system. Finally, different specifications are proposed and also the advantages of install automatic diverters in the plant.

KEYWORDS: Diverter, dampers, thermoelectric plants, combined cycle

¹*hincapiee2@asme.org,
Universidad Nacional
de Colombia,
Sede Medellín.*

²*hsierra@unalmed.edu.co
Profesor titular
Universidad Nacional
de Colombia,
Sede Medellín.*

1. INTRODUCCIÓN

El panorama mundial, basado en una economía de mercado global, permite que los ingenieros estén en capacidad de participar en búsquedas de soluciones a problemas reales, que trascienden las fronteras del conocimiento regional, como el presentado con los *dampers diverter* de la central termoelectrica La Sierra, propiedad de las Empresas Publicas de Medellín (EPPM).

Las centrales térmicas generan energía a partir del eficiente aprovechamiento del calor y en Colombia representan el 28.7% del mercado energético nacional (UPME, 2004). A nivel mundial, la energía térmica continúa su crecimiento y en los Estados Unidos representa el campo de mayor expansión en los últimos cinco años (Wurzbach, 2002).

Los *dampers diverter* se encuentran dentro de la gran cantidad de equipos que tienen las centrales a gas de ciclo combinado y su función principal consiste en aislar el ciclo de vapor y habilitar la operación en ciclo simple o viceversa.

La Sierra fue adquirida con un sistema de *dampers* mecánicos o manuales, de operación compleja y lenta, que presentan

2. CENTRALES TÉRMICAS

Una central térmica a gas permite convertir la energía química almacenada en el combustible en energía eléctrica tal como se muestra en la Figura 1 (Arbelaez, 2000). El proceso de conversión es el siguiente: el compresor succiona aire y lo comprime para enviarlo a la cámara de combustión. Allí ingresa el combustible y se produce la ignición de la mezcla aire y combustible, que es conducida a la turbina a gas donde se expande produciendo energía mecánica. Para terminar, los gases de combustión son expulsados de la turbina. Este proceso se conoce como ciclo simple y termodinámicamente se rige por el ciclo *Brayton* (Brooks, 2000).

Los gases de escape del ciclo simple son dirigidos hacia la atmósfera. Sin embargo, debido al alto contenido de calor que poseen a su salida, los gases pueden ser aprovechados para obtener energía adicional en un proceso conocido como ciclo combinado el cual se rige termodinámicamente por el ciclo *Rankine* (Arbelaez, 2000). En éste, los gases de escape son conducidos hacia la Caldera Recuperadora de Calor Generadora de Vapor (HRSG). Por el dispositivo circula agua, que es convertida en vapor, mediante el

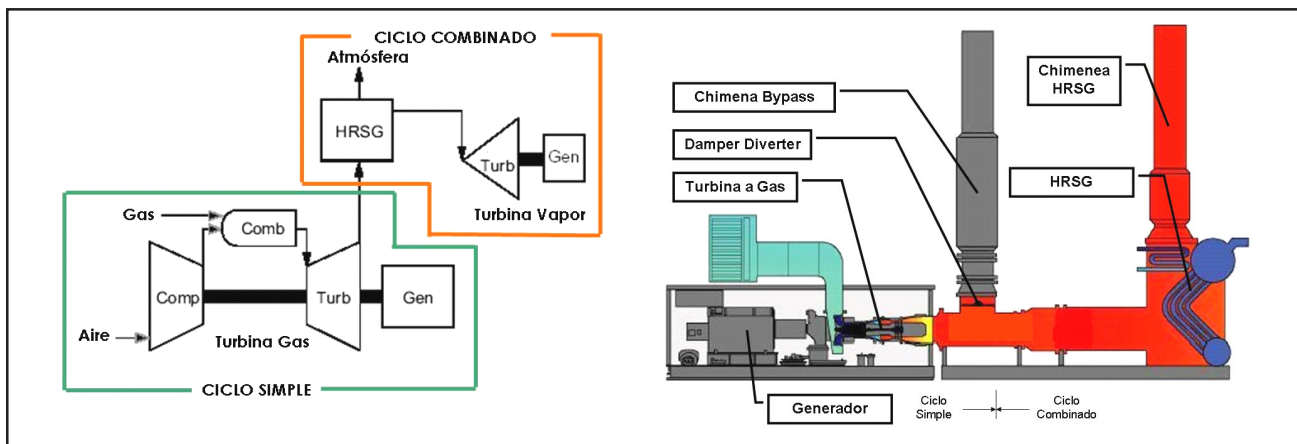


Figura 1. Principio y equipos del ciclo simple y combinado (Carpenter, 2002)

contratiempos en el funcionamiento de la central debido a los largos períodos de paro, ocasionados durante la operación de los dispositivos. Esta problemática conllevó a las EPPM a plantear un estudio conceptual para la implementación de *diverters* automáticos, que examinara los aspectos económicos y técnicos del cambio, como también sus ventajas.



Figura 2. Central termoelectrica La Sierra

Cada una de las dos turbinas a gas cuenta con una HRSG. La turbina a vapor fue construida por G.E. (EE.UU.), modelo STAG 207FA con una capacidad de 180MW.

intercambio de calor con los gases de escape (Figura 1), que es conducido a la turbina de vapor donde produce energía mecánica. La Sierra es una central de ciclo combinado (Figura 2) que se encuentra ubicada en Antioquia, Colombia y cuenta con dos turbinas a gas de 150MW fabricadas por General Electric (EE.UU.), de la serie Frame MS7001FA.

3. GENERALIDADES DE DAMPERS

Un *dampers* es un dispositivo mecánico ó electromecánico encargado de controlar, detener o desviar el flujo de un gas a través de un conducto. Los *dampers* son válvulas de gran tamaño. Existen diversos tipos de *dampers* como los que se citan a continuación (Whalco, 2004):

* **Guillotina.** El *dampers* guillotina es esencialmente una placa que descende por unas guías (Figura 3A). Los *dampers* guillotina son usados principalmente para al aislamiento de conductos.

* **Mariposa.** Su funcionamiento es similar a una válvula mariposa. Cuenta en su interior con una placa circular, pivotada en su eje central, que gira para detener o permitir el flujo de los gases (Figura 3B). Su uso es recomendado para la regulación y bloqueo del flujo.

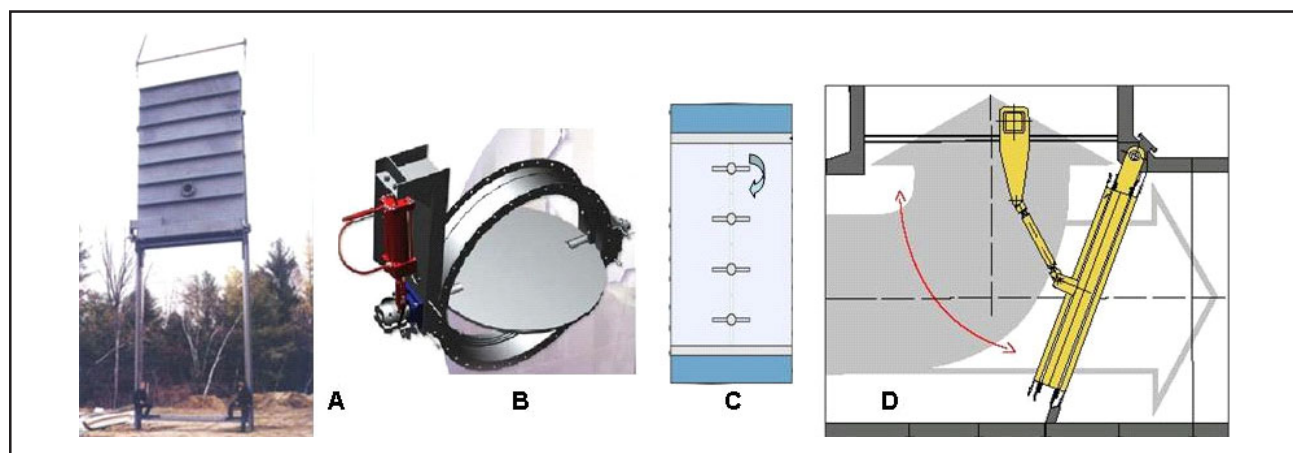


Figura 3. Diferentes tipos de dampers (Whalco, 2004).

* **Persiana.** Cuenta con varias placas pivotadas en su eje longitudinal central (persianas). Las persianas giran sincronizadamente para detener o permitir el paso de los gases (Figura 3C). Su uso es recomendado para la regulación y bloqueo del flujo gaseoso.

* **Diverter.** Un diverter es un tipo de damper empleado para desviar el flujo gaseoso (Figura 3D). La palabra “diverter” es una derivación del verbo inglés divert o desviar. Este tipo de dampers

combinado. En las plantas de ciclo combinado, los gases de salida de la turbina a gas son llevados hacia una división en forma de T. Una de las salidas de la división conduce hacia la chimenea bypass por donde los gases serán liberados a la atmósfera cuando se opera en ciclo simple. La otra salida de la división conduce hacia la HRSG. Los gases deberán dirigirse hacia la HRSG cuando la planta opera en ciclo combinado y éstos no son liberados a la atmósfera a través de la chimenea.

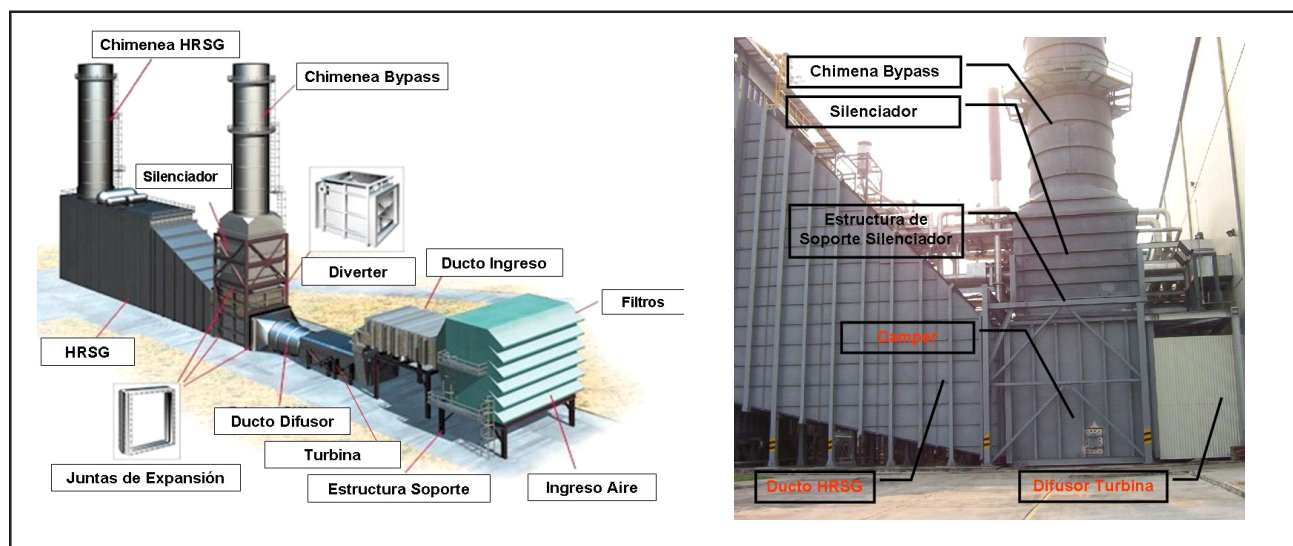


Figura 4. El damper diverter en termoeléctricas (Braden, 2000) y el de La Sierra.

es usado en zonas donde el ducto se divide en dos partes, en juntas tipo T, Y u otras. El diverter es empleado para dirigir los gases hacia alguno de los ductos de salida. El damper diverter es la evolución del sistema persiana y guillotina, antes usados ampliamente en las centrales térmicas (Soapp, 2004).

Un damper diverter puede ser automático o mecánico. Los de tipo automático utilizan motores eléctricos o actuadores hidráulicos acoplados al sistema de manera que el funcionamiento del dispositivo es autónomo. Los de tipo mecánico, o manual, como el instalado en la central, necesitan la intervención de personal para su funcionamiento.

Los dampers diverter son equipos usados en plantas termoeléctricas y se encuentran ubicados en los ductos que conducen los gases de escape de la turbina a gas (Figura 4).

Los diverters son la frontera entre el ciclo simple y el ciclo

Las razones por las cuales los dampers diverter son escogidos para esta aplicación no se conocían al comienzo del estudio, el cual ha identificado, para la aplicación en particular, algunas ventajas de los diverters respecto a los otros tipos de dampers (Tabla 1).

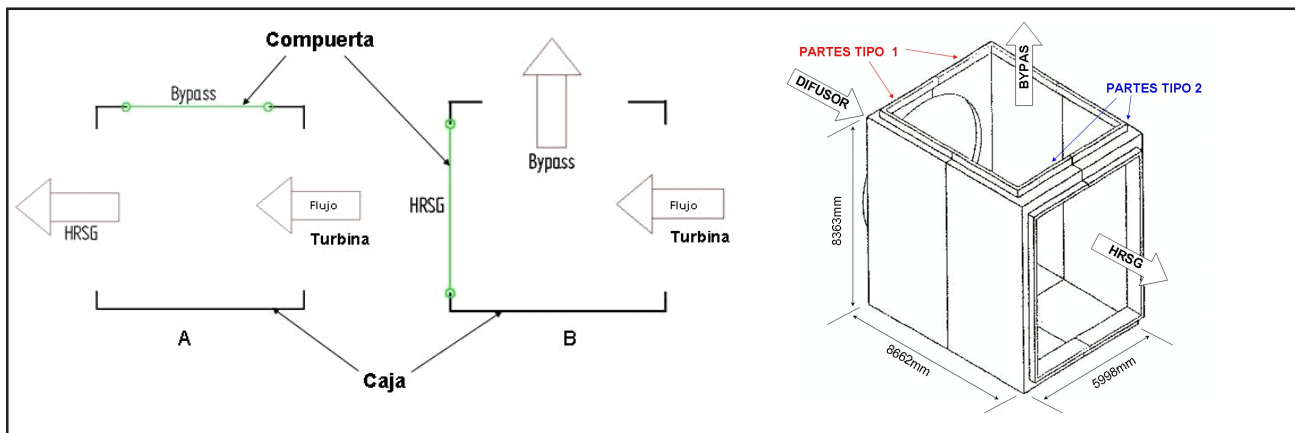
4. EL DIVERTER MECÁNICO

La central cuenta con dos dampers diverter mecánicos. Generalmente, la central opera en ciclo combinado y los diverters dirigen los gases de escape hacia las HRSG (Figura 5A).

El damper diverter hace parte del sistema exhosto de la planta. El sistema exhosto es la parte de la planta en la que los gases de la turbina son dirigidos hacia el ciclo combinado, o hacia la chimenea bypass (GE, 1997). El sistema exhosto se compone de un ducto difusor, el damper diverter, un ducto de ingreso a la HRSG, un

Tabla 1. Comparación de diferentes tipos de dampers para termoelectricas.

Característica	Guillotina	Mariposa	Persiana	Diverter
Desventajas				
Necesidad de instalar dos conjuntos (hacia bypass y HRSG)	Sí	Sí	Sí	No
Deformaciones permanentes de sus elementos que deterioran el funcionamiento		Sí	Sí	No
Gran pérdida de presión por elementos que permanecen expuestos al flujo		Sí	Sí	No
Gran perímetro del sistema que dificulta el sistema de sello			Sí	No

**Figura 5.** Funcionamiento y componentes del diverter mecánico.

silenciador, y la chimenea bypass (Figura 4).

Cada diverter se compone de una caja, una compuerta, y el sistema de sello.

* **Caja.** Éste es el lugar de ingreso y distribución de los gases de combustión, conocido como Caja T, puesto que tiene una entrada y dos salidas perpendiculares (Figura 5C). La Caja T es una estructura en acero ASTM A36, compuesta por láminas de 1/4" de espesor y un esqueleto de vigas en I. La caja cuenta con fundaciones pernadas al suelo de la central en cada una de sus cuatro esquinas. Ésta se divide en cuatro partes principales para su ensamble, ó cuadrantes. El peso total de la caja es de 69Ton (Parsons, 2000). La caja se encuentra externamente protegida con pintura inorgánica a base de zinc, la cual es sugerida para estas aplicaciones, donde existe una combinación de corrosión y alta temperatura (Schilke, 1999). La caja cuenta con tres juntas expansivas ubicadas en la entrada y cada una de las dos salidas.

* **Compuerta.** La compuerta es una placa rectangular de 6.9m x 5.6m. Ésta, también conocida como Blanking Plate, se compone de láminas de acero ASTM A36 reforzadas con perfiles estructurales en I del mismo acero, en dirección transversal y longitudinal a manera de reja (Braden, 2000). El peso total del Blanking Plate es de 9.6Ton.

La compuerta tiene un borde de lámina alrededor de todo su perímetro con el fin de encajar en cualquiera de los dos marcos de la caja T, en posición horizontal o vertical. La compuerta se encuentra sujeta al marco de la caja del diverter mediante 44

pernos.

El movimiento de la compuerta del diverter mecánico actual requiere, principalmente, de cuatro operaciones (Figura 6):

1. Instalar andamios y preparar el lugar con adecuada iluminación y ventilación.
2. Remover los liners (recubrimientos) y el aislamiento perimetral de la compuerta. Retirar los tornillos que sujetan la compuerta a la caja T.
3. Pivotar la compuerta desde su posición vertical hasta la horizontal, con la ayuda de una grúa.
4. Sujetar la compuerta a la caja T mediante los tornillos.

* **Sello.** El sello de un damper diverter es una parte crítica para su desempeño puesto que las fugas representan pérdidas de eficiencia para la central. El actual sistema, debido a sus características "fijas", posee un sistema de sello mecánico mediante pernos. Por el tipo de maniobra realizada, el sistema presenta un sellado total, lo que representa una ventaja para este tipo de sistemas.

* **Aislamiento.** Todo el sistema exhosto cuenta con aislamiento interno en la superficie, excepto en los componentes como el silenciador y la chimenea. En particular, el damper diverter se

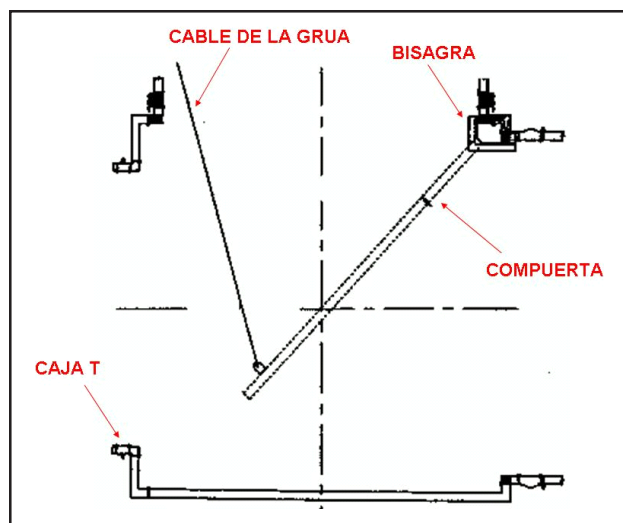


Figura 6. Movimiento del diverter (Braden, 2000).

encuentra aislado térmicamente con el fin de evitar la pérdida de calor de los gases y disminuir la temperatura superficial del dispositivo.

El aislante es un tejido de fibras cerámicas. Existe un tendido de placas (o liners) de acero inoxidable ASTM tipo 409 sobre el aislante, para evitar que los gases calientes entren en contacto directo con éste.

El acero inoxidable ASTM tipo 409 es ampliamente usado en sistemas de exhosto para turbinas a gas, con el fin de proteger la parte estructural de las elevadas temperaturas (Schilke, 1999).

Para averiguar la magnitud de la temperatura exterior del diverter se realizó un análisis de temperatura superficial con una cámara Termográfica tal como se muestra en la Figura 7 (Castaño, 2004). La medición indicó una temperatura superficial menor de 69°C.

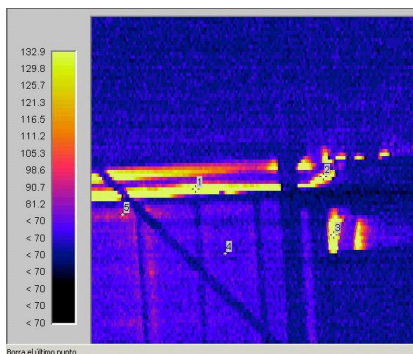


Figura 7. Imagen térmica del diverter.

Los dampers mecánicos han sido operados en dos ocasiones debido a un daño registrado en la turbina a vapor. La primera maniobra tuvo una duración de varias semanas de indisponibilidad y consistió en descender la compuerta. La segunda maniobra consistió en levantar la compuerta, el proceso tuvo una duración de casi tres semanas de indisponibilidad.

Durante el proceso de diseño, existieron dudas sobre el desempeño tecnológico de los dampers automáticos debido a posibles deficiencias en el sello y fallas en los mecanismos. Sin embargo, estas limitaciones tecnológicas no existen en la actualidad como demuestra el estudio.

5. EL DIVERTER AUTOMÁTICO

Existen diversas compañías en el mercado mundial que se dedican a la construcción y venta de diverter automáticos (también conocidos como diverter funcionales). En la Tabla 2, se muestran las empresas que producen diverters del tamaño requerido en proyecto.

Tabla 2. Lista de proveedores

Compañía	País
Bachmann, Inc	USA
Kaefer-Raco Engineering GMBH	Alemania
Raumag-Janich Systemtechnik GMBH	Alemania
Senior Flexonics Pathway	USA
Wahlcometreflex, Inc	USA
Braden Europe	Holanda

Uno de los requerimientos de la empresa fue identificar otras centrales de generación equipadas con diverters automáticos para conocer su experiencia en el uso de los dispositivos.

Para estudiar a nivel nacional, se contactaron las plantas de Termocentro (ISAGEN), Termocoa (ECOPETROL) y Termobarranquilla S.A. (TEBSA). Todas ellas cuentan con diverter automáticos.

En Termocoa los diverter presentaron algunos inconvenientes, al parecer, originados al regular el flujo de los gases hacia la HRSG sin que estuvieran diseñados para este fin. Se presentaron problemas de vibraciones del dispositivo. La literatura ha reportado, mediante modelamiento por elementos finitos, la presencia de altas vibraciones bajo estas condiciones de operación y cuando el damper no ha sido diseñado para ello (Yusof, 2000).

Por su parte, TEBSA tiene instalados 5 diverters automáticos, y Termocentro 2 dispositivos. En ambas plantas no se han presentado problemas con los equipos.

Respecto a la experiencia internacional, el estudio identificó la existencia de al menos 430 diverter automáticos en diversas plantas a nivel mundial. Este dato confirma el hecho que, estos dispositivos ofrecen una madurez técnica suficiente para las centrales de generación de energía térmica. Del total de dispositivos identificados, 288 (66%) tienen condiciones similares, de temperatura y tamaño, al requerido para el proyecto. Además, el estudio identificó diverters automáticos en centrales con turbinas iguales a las instaladas en la central (Tabla 4).

Tabla 3. Diverter en turbinas GE7FA

Cant.	Turbina	Lugar
2	GE 7FA	Denver City, Texas USA
2	GE 7FA	Pederneiras, Brasil
1	GE 7FA	Kissimmee, Florida USA
1	GE 7FA	Bosque County, Texas USA

Sobre un damper diverter automático pueden considerarse seis aspectos principales, a saber: la caja, la pala o compuerta, el tipo



Figura 8. Diverter automático (Bachmann, 2004) y la compuerta.

de dispositivo, el mecanismo de movimiento, el sistema de sello, y el sistema de control.

* **Caja.** Esta parte de un diverter automático es similar a la empleada en el tipo mecánico usado en la central. La caja se compone de una estructura en láminas y perfiles de acero al carbono (Whalco, 2004).

* **Pala.** Esta parte del dispositivo, también conocida como blade, es una compuerta de geometría cuadrada que gira para desviar los gases hacia la HRSG o la chimenea bypass. La pala se encuentra generalmente construida con perfiles de acero inoxidable ASTM tipo 316, 304 y 321 para resistir la temperatura de los gases de salida tal como se muestra en la Figura 8 (Raumag, 2004).

Es necesario resaltar que la estructura interna de la pala está en contacto directo con los gases cuando la turbina se encuentra operando (Figura 9). Esto representa una diferencia importante con el sistema mecánico, el cual tiene protección aislante.

* **Aislamiento.** Se compone de una capa aislante y un tendido de láminas de acero inoxidable, en una configuración similar al diverter mecánico

* **Tipo.** Los diverters automáticos se pueden clasificar con base en su mecanismo. Existen dos tipos de mecanismos para un diverter, el de pala pivotada y el mecanismo de barras. En cualquiera de las dos configuraciones el motor se ubica por fuera del dispositivo

para protegerlo de los gases de combustión.

El primero involucra un mecanismo de dos barras, en acero inoxidable, que transmite el movimiento giratorio entre el eje y la pala, mediante un pivote en su extremo (Figura 9A). Esta opción requiere una menor potencia para el movimiento de la pala y un diseño menos exigente puesto que los esfuerzos se encuentran repartidos en la estructura. La principal desventaja de este sistema es la necesidad de un espacio libre superior.

El segundo consiste en una pala pivotada en su extremo y acoplada a un motor (Figura 9B). La configuración exige una mayor potencia del motor y un diseño robusto de la pala que se encuentra en voladizo. Por ello, este diseño es entre un 15-20% más costoso que el de barras (Whalco, 2004).

* **Accionamiento.** Puede ser de tipo eléctrico o hidráulico. Durante el estudio no se encontró información sobre dispositivos neumáticos.

Los dispositivos eléctricos cuentan, en general, con un motor acoplado a un sistema de transmisión sin fin-corona, y tienen limitaciones respecto a la máxima potencia que pueden entregar. La experiencia expone que los diverters eléctricos no deben superar un tamaño de la pala de 4,3m x 4,3m (Braden, 2000).

Los hidráulicos se componen de uno a varios cilindros hidráulicos que se encargan de entregar la potencia necesaria para el movimiento de la pala. El sistema hidráulico tiene un costo superior al eléctrico de aproximadamente USD50.000 y requieren un mantenimiento

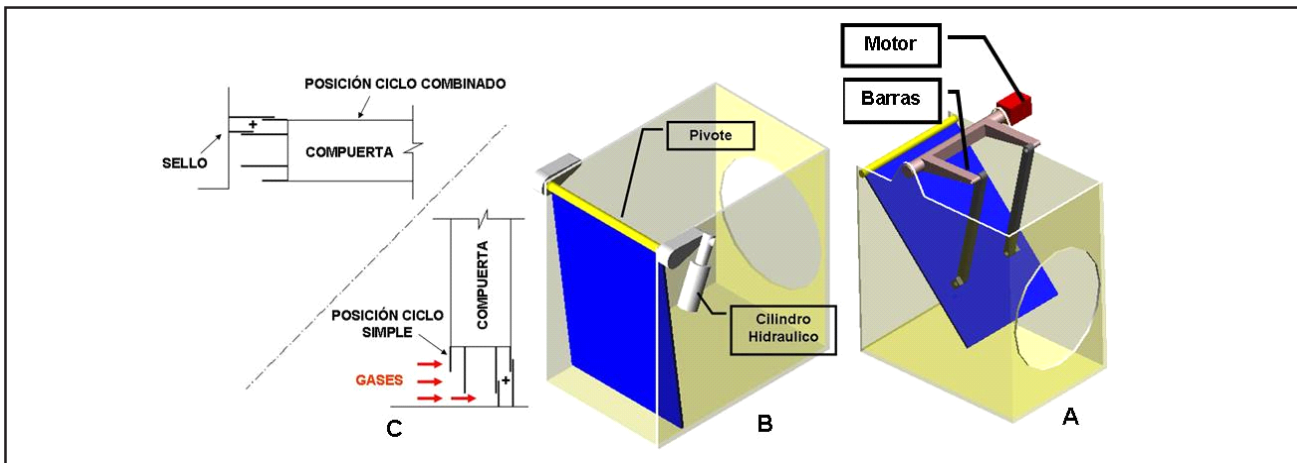


Figura 9. Sistema de sello y diferentes tipos de diverters automáticos

mayor (Whalco, 2004).

* **Sello.** Un aspecto crítico de los diverters automáticos es el sistema de sello debido a las temperaturas de los gases de combustión. A diferencia de los dispositivos mecánicos, cuyo sistema de sello es fijo y mediante pernos, los dampers automáticos deben garantizar el sellado de manera automática. Al inicio del estudio, no se conocía si existía un sistema de sello confiable para la aplicación. Sin embargo, el estudio identificó un sistema de sello con aire de uso generalizado en estos dispositivos. No se encontraron otras tecnologías para el sello.

El sello de aire consiste en un arreglo doble de láminas de acero inoxidable, tanto en el marco como en el perímetro de la compuerta (Figura 9C). Se envía aire a presión, mediante una bomba centrífuga, dentro de la cavidad creada por las láminas. La presión, superior a la de los gases de combustión (signo +, Figura 9C), impide el ingreso de los gases al sistema de sello.

Este sistema ha permitido alcanzar eficiencias de sellado del 100% en los dispositivos. Sin embargo, algunos espacios entre las láminas de los sellos pueden conducir a eficiencias levemente menores.

* **Mantenimiento.** El mantenimiento de un diverter automático es sencillo y poco frecuente. De hecho, centrales colombianas han operado sus dispositivos por 5 años sin realizar ningún mantenimiento importante.

El mantenimiento principal de un damper diverter consiste en el cambio de las láminas que componen el sistema de sello.

* **Precio.** El precio de un damper diverter depende de varios factores, entre los que se encuentran, el tipo de turbina, las dimensiones del sistema exhosto, la composición de los gases de combustión, la cantidad de dispositivos a adquirir y el tipo de diverter. Durante el proyecto se identificaron cotizaciones para diverters de la central, que oscilan entre los USD 582.000 hasta USD 837.000, por dispositivo, entrega Exworks, precio en el año 2004.

6. CONSIDERACIONES PARA LA ADQUISICIÓN DEL DIVERTER

A continuación, se exponen los principales aspectos técnicos que se deben tener en cuenta para la posible adquisición de un diverter automático.

* **Caudal.** El flujo másico que involucra la generación de 150MW de potencia es significativo y debe considerarse como una variable importante en el diseño. Este flujo másico que ingresa al diverter, choca contra las estructuras internas del dispositivo, especialmente la compuerta, y varía según el tipo de turbina usado. Se encontró reportado un flujo másico de 3'560.000lb/h para la turbina a gas (Parsons, 2000).

Este flujo másico, combinado con la temperatura y presión, permitió estimar un caudal de 2 382 000 CFM.

* **Presión.** La presión de los gases representa un aspecto importante en el diseño del diverter. Se encontró que la presión manométrica de los gases, a la salida de la turbina, es de 15" W.C. (Parsons, 2000).

* **Temperatura.** Un aspecto crítico del diseño de los dispositivos es la elevada temperatura de los gases que circulan por él. Se pueden esperar dilataciones en los materiales de manera que las dimensiones globales del dispositivo pueden variar hasta en 90mm (Kaefer,

2004). La documentación existente de la central reporta una temperatura de 1117.7°F (Parsons, 2000).

* **Composición.** Los diverters son usados en centrales de generación de energía térmica con diversos combustibles como el carbón, el gas natural y el Fuel Oil. La composición de los gases de escape varía con la aplicación. Para el caso en particular, los gases tienen la composición mostrada en la Tabla 4 (Parsons, 2000).

* **Movimiento.** Los fabricantes de diverters clasifican los dispositivos en tres tipos, según su movimiento (Bachmann, 2004).

1. On-Off. La pala solamente se puede ubicar en posición vertical u horizontal.

2. Modulación parcial. Permite que la pala gire de manera escalonada, con una resolución de 10° o 15°. La modulación parcial permite regular el flujo de los gases que ingresan a la caldera y, así, evitar choques térmicos que deterioran los componentes. Este tipo de diverters se diseña para operar mientras la turbina se encuentra funcionando.

3. Modulación Total. Permite que la pala gire continuamente con mayor resolución. Es usado en aplicaciones especiales donde se requiere un control preciso de la cantidad de flujo que circula por el dispositivo.

La complejidad del dispositivo aumenta, y por tanto su costo, desde el tipo On/Off hasta el de modulación total.

Puesto que la central requiere un diverter que opere sin problemas cuando las turbinas a gas están funcionando, pero el proceso no requiere un control preciso del flujo, se concluye que el tipo de damper requerido es de modulación parcial.

Tabla 4. Composición de los gases

Componente	% Molar
Oxígeno	12,99
Agua	9,63
Dióxido de Carbono	3,34
Nitrógeno	73,17
Argón	0,87

* **Tiempo.** Se encontró que los tiempos de maniobra de los damper diverters están entre 20 y 120 segundos. El estudio recomienda, con base en experiencias de plantas similares, un tiempo de cerrado/apertura de 60s. Tiempos de operación menores de 40s requirieren, por lo general, el uso de dispositivos hidráulicos obligatoriamente (Whalco, 2004).

* **Pérdida de presión.** Una pérdida de presión elevada implica que el diverter se está oponiendo considerablemente al flujo de los gases. La pérdida de presión influye negativamente en el desempeño de la turbina a gas tal como se muestra en la Tabla 5 (Brooks, 2000).

Tabla 5. Efectos en la turbina MS7001

Aumento en la caída de presión de 4"W.C. a la salida de la turbina
- Reducción del 0,42% en la potencia
- Incremento del 0,42% en el heat rate
- Incremento de 1,1°C en la temperatura de salida

Se estableció que los diverters automáticos en las turbinas a gas como las instaladas en la central tienen una pérdida de presión aproximada de 0.35" W.C. hacia la HRSG y 0.7" W.C. hacia la chimenea bypass (Whalco, 2004).

* **Materiales.** La resistencia mecánica de los materiales disminuye con el aumento de temperatura. En el caso del acero ASTM A36, empleado comúnmente en la fabricación de estructuras, el límite elástico a 1200°F (temperatura del diverter), es el 40% del límite a temperatura ambiente, tal como se muestra en la Figura 10 (Iding, 2003). Es la alta temperatura la que ha conducido al uso de aceros inoxidable en la compuerta como el ASTM tipo 316, 304 y 321 (Raumag, 2004). Estos tres aceros tienen en común que son inoxidables de tipo austenítico.

En especial, la literatura reporta que los aceros inoxidables más adecuados para esta aplicación, a temperaturas elevadas superiores a los 1000°F, son los de tipo austenítico tal como se muestra en la Figura 10 (Sierra, 2000).

7. VENTAJAS DEL PROYECTO

A continuación se expone un breve análisis sobre las ventajas de implementar diverters automáticos en una central de ciclo combinado, como la analizada en el proyecto.

Disparos. La turbina, una vez en operación, puede detenerse de dos formas, mediante un descenso controlado de la combustión

hasta el paro (fired shutdown) o, un disparo (trip) que es una detención repentina de la máquina, o de emergencia, ante un evento imprevisto que pone en riesgo la seguridad de la planta.

Los disparos son ordenados directamente por el programa de control de la central y pueden atribuirse a dos conjuntos: el ciclo simple (turbina a gas) y el ciclo de vapor. El diverter es útil para los del segundo tipo puesto que, ante un evento de este tipo, cierra el flujo de gases hacia el sistema de vapor y permite continuar la operación del ciclo simple, sin disparo.

Un disparo de la turbina influye negativamente en la vida útil de sus componentes, acelerando el mantenimiento. En la detención, los alabes se enfrían de forma irregular debido a su geometría (Figura 11A). La diferencia puede ser de cientos de grados Celsius (Hoeft, 2003). Estas diferencias provocan tensiones mecánicas internas en el componente. Durante un disparo, el fenómeno es más crítico debido a la rapidez del proceso de paro (Figura 11B). La mayor deformación conduce a un agrietamiento acelerado y deterioro de las piezas.

En general, las turbinas a gas requieren de tres mantenimientos importantes, a saber: la inspección de combustión (IC), la inspección de ruta de gases calientes (HGPI), y la inspección mayor (IM). Cada una de ellas comprende la revisión y cambio de componentes de cierta porción de la turbina.

La frecuencia de estos mantenimientos se determina por arranques en el caso de la central analizada en este proyecto (Tabla 6). El disparo acelera los intervalos de mantenimiento, puesto que, cada

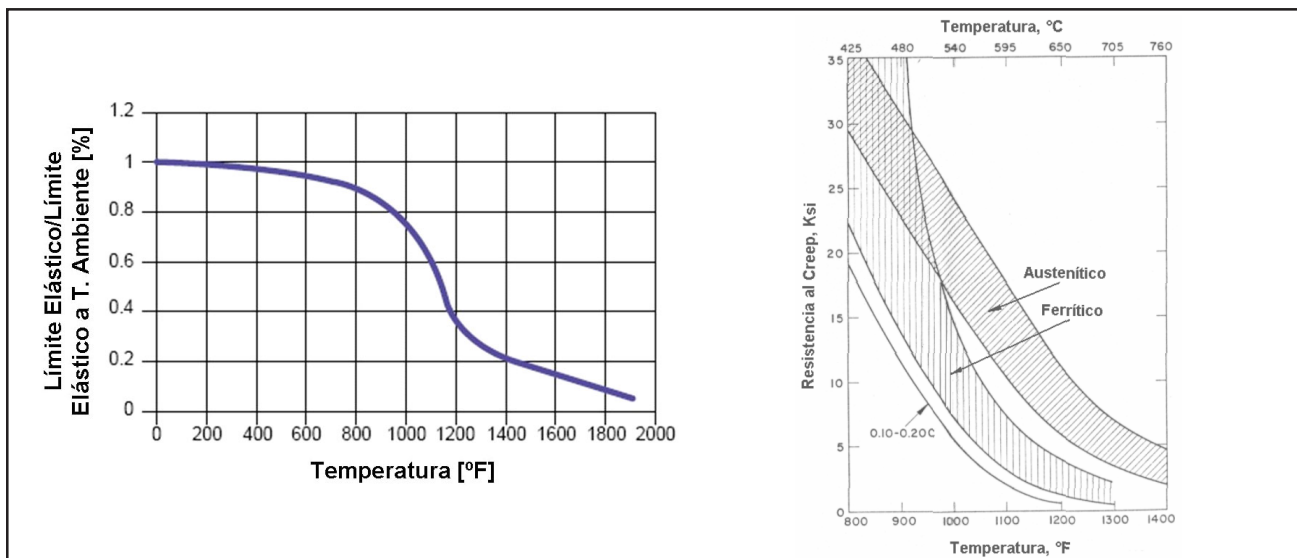


Figura 10. Variación del límite elástico del ASTM A36 y resistencia al creep.

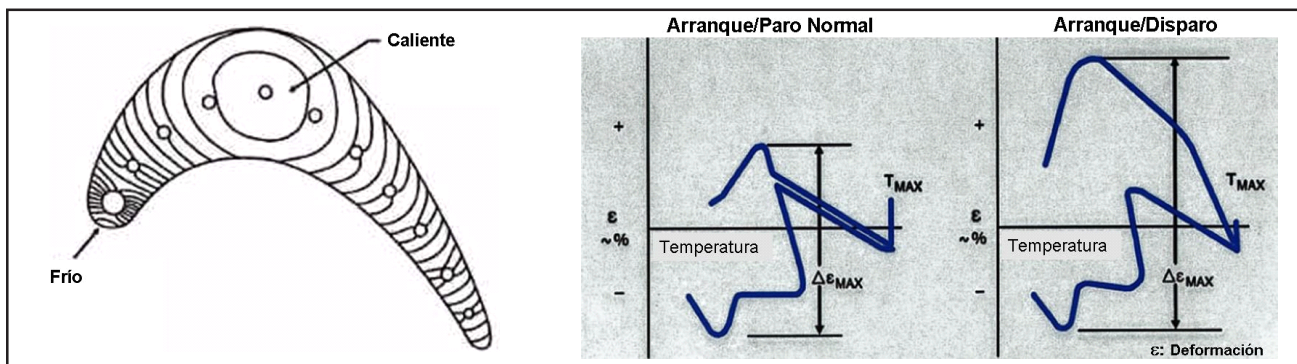


Figura 11. Gradiente térmico del alabe (Hoeft, 2003)

disparo puede llegar a ser equivalente a 8 arranques (Hoeft, 2003). Es decir que, en estos casos 57 disparos equivalen a 450 arranques, el intervalo para la IC.

Tabla 6. Mantenimientos de la turbina

Mant.	Arranques	millones USD
IC	450	5
HGPI	900	5,5
IM	2400	No disponible

* **Indisponibilidad.** La implementación de diverter automáticos permite que, ante una paro del ciclo de vapor, ya sea inesperado o programado, la central pueda estar en capacidad de operar, al menos, en ciclo simple. Los diverter mecánicos o manuales, como el instalado actualmente, sólo son útiles cuando el paro es superior al tiempo de operación de los dispositivos.

* **Flexibilidad.** Otra ventaja de los diverter automáticos es la flexibilidad que otorgan a la operación de la central. En caso de que se requiera solamente la potencia entregada por el ciclo simple, debido a la demanda de energía del momento, o la prolongada rampa de arranque del ciclo de vapor, se puede operar únicamente en este modo mediante el aislamiento del ciclo combinado.

8. CONCLUSIONES

1. Respecto a los dispositivos mecánicos y automáticos, se puede precisar lo siguiente:

* Debido a ventajas tales como: la baja pérdida de presión, un menor perímetro del sello, y la posibilidad de instalar un solo dispositivo, los dampers diverter son ampliamente usados en centrales termoeléctricas en vez de otros dispositivos.

* La operación de los diverters mecánicos es compleja debido a su pesada construcción. Están compuestos de: la caja, la compuerta, el sistema de sello y están aislados internamente.

* Los diverters automáticos poseen un sistema de sello por aire que alcanza eficiencias de sellado cercanas al 100%. Se pueden clasificar en dispositivos de barras y pivotados.

* Debido a su madurez tecnológica y las diferentes ventajas que otorgan, se han instalado, al menos, 431 diverters automáticos en plantas a nivel mundial. De éstos, el 66% de los dispositivos operan en condiciones similares al que se implementarían en la central analizada en este proyecto.

2. Se recomienda que, ante la posible adquisición de diverters automáticos, se tenga en cuenta lo siguiente:

* El flujo másico de los gases, como también su presión, temperatura y composición.

* El tipo de movimiento requerido y el tiempo de operación

* La máxima caída de presión permisible y la eficiencia del sello, entre otros.

3. La posible adquisición de diverters automáticos para la central, representaría las siguientes ventajas para la central:

* Disminución de disparos en la turbina a gas

* Evitar indisponibilidades tanto cortas como largas

* Otorgar una mayor flexibilidad a la operación de la central.

9. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. su colaboración en la formulación, financiación y ejecución del proyecto que dio lugar a este artículo. Especialmente a los Ingos. Juan Carlos Toro Londoño y Jesús Emilio Ocampo, adscritos al Equipo Análisis Técnico de la Subgerencia Operación – Generación, y a las directivas de la organización.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Arbelaez C et al. Generar Energía: Módulo de competencias funcionales. Medellín: Empresas Públicas de Medellín. 61 p. 2000.
- [2] Bachmann Industries [Cotización], 2004
- [3] Braden Europe. Braden Systems for Gas Turbines [Catálogo], 2000.
- [4] Braden Manufacturing. LASI-1-DV-357-GA8837-5 [Plano], 2000
- [5] Brooks F. GE Gas Turbine Performance Characteristics GER-3567H. Schenectady (EE.UU.): GE Power Systems; 2000. 20 p.
- [6] Carpenter K. Emission Solutions for Gas Turbines. Florida (EE.UU.): Siemens-Westinghouse Power Generation; 2002. 15 p.
- [7] Castaño L, Hincapié E, Zapata J. Inspección termográfica en la Central Térmica La Sierra. Medellín: Empresas Públicas de Medellín, 2004. 24 p.
- [8] GE Power Systems. Gas Turbine Design, Construction & Operator Training Manual (TAB 3). 1997.
- [9] La Sierra Project – Job Dossier y General Design Manual. GE y PARSONS GROUP INTL; 2000.
- [10] Hoeft R, Janowitz J, Keck R. Heavy Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations GER-3620J. Schenectady (EE.UU.): GE Power Systems, 2003. 52 p.
- [11] Iding, R.H. Calculating Structural Response to Fire. Berkeley (EE.UU.): Society of Fire Protection Engineers, 2003. 8 p.
- [12] Kaefer Raco Engineering. A30204001 [Plano], 2004.
- [13] Raumag Janich [Cotización], 2004
- [14] Schilke P. Advanced Gas Turbine Materials and Coatings GER-3569D. Schenectady (EE.UU.): GE Power Generation; 1999. 19 p.
- [15] Sierra, H. Aceros de construcción mecánica, de herramientas e inoxidable y pautas para su elección. Medellín: Universidad Nacional Sede Medellín, 2000. 230 p.
- [16] Soapp. Bypass Stack and Diverter Valve [Sitio en Internet]. Disponible en <http://www.soapp.com/>. Visitado el 25 de Mayo de 2004
- [17] Unidad de Planeación Minero Energética. Plan de Expansión Preliminar. Bogotá: UPME, 2004. 131 p.
- [18] WhalcoMetroflex [Sitio en Internet]. Disponible en <http://wahlcometroflex.com/prod> y Cotización. Visitado el 28 de Mayo de 2004.
- [19] Wurzbach R. Infrared Evaluation of New and In-service Refractory in Heat Recovery Steam Generators. Brougue(EE.UU.): Maintenance Reliability Group, 2002. 8p.
- [20] Yusof ZM. Analysis of Flow Induced Vibration in Combined Cycle Diverter Damper. Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Universiti Tenaga Nasional. Singapur