

# El Reto de las Plantas Térmicas de Ciclo Combinado ante la Situación Energética Actual

## The Challenge of Combined Cycle Thermal Plants to the Current Energy Situation

Basañez Llantada Aitor<sup>1</sup>, Mónica Lorenzo García<sup>2</sup>

**Abstract** The relentless rise in energy demand and concerns about the reduction of CO<sub>2</sub> emissions over the last decade caused a dramatic increase in the number of combined cycle power plants in Spain. However, the new energy situation, with declining demand and increasing renewable energy, these plants have been forced to work intermittently, with repeated start ups and shut downs. This type of operation causes adverse effects on equipment which require the design of new conservation strategies. This paper analyzes this new reality and tries to propose alternatives to address it.

**Resumen** El incesante aumento de la demanda energética y la preocupación por disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> provocó, durante la década pasada, un incremento espectacular en el número de centrales térmicas de ciclo combinado en España. Sin embargo la nueva coyuntura energética, con descenso de la demanda y el aumento de energías renovables, ha hecho que estas plantas se vean obligadas a trabajar de manera intermitente con continuos arranques y paradas. Este tipo de funcionamiento provoca efectos negativos sobre los equipos, que hacen necesario el diseño de nuevas estrategias de conservación. Este trabajo analiza esta nueva realidad y trata de proponer alternativas que le hagan frente.

**Keywords:** Combined Cycle Power Plant, Cyclic, Maintenance, Energy **Palabras clave:** Central Térmica de Ciclo Combinado, Ciclismo, Mantenimiento, Energía.

---

<sup>1</sup> Basañez Llantada A (✉); Dpto. de Organización de Empresas. ETS de Ingeniería de Bilbao (UPV/EHU), Alameda de Urquijo s/n, 48013 Bilbao, Spain.

e-mail: aitor.basanez@ehu.es

<sup>2</sup> Lorenzo García M. Estudiante de la ETS de Ingeniería de Bilbao (UPV/EHU). Spain

e-mail: monikalorenzo@euskalnet.net

## 1.1. Introducción

A comienzos de la década pasada las compañías eléctricas españolas iniciaron un ambicioso proyecto de construcción de centrales térmicas de ciclo combinado, CTCC, por toda la geografía española, en su afán por aumentar su capacidad de generación y dar respuesta a la creciente demanda de electricidad existente. Con ello, además, contribuían a la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> ya que éstas debían sustituir a las plantas de carbón, más contaminantes. (Bancalari 2005)

Las CTCCs fueron diseñadas para funcionar en continuo, bajo condiciones determinadas y con un número reducido de arranques y paradas, sin embargo, el incremento de las energías renovables y la caída de la demanda a causa de la crisis, las han convertido en “suministradores de apoyo” del mercado eléctrico. Las horas de funcionamiento han disminuido, el número de arranques y paradas ha aumentado y las condiciones de trabajo son sensiblemente distintas a las de diseño. (Emberger et al 2007, Sanjuan 2011) Esta nueva forma de trabajo que llamaremos “funcionamiento cíclico”, en contraposición al funcionamiento en condiciones de diseño o “a carga base”, hace necesario conocer el impacto que tiene sobre los equipos y repensar los sistemas de conservación y mantenimiento.

Aunque los grandes fabricantes ya están ofreciendo equipos mejor adaptados para su funcionamiento en modo cíclico (Ladwig 2011, Bancalari 2005) resulta evidente la necesidad de optimizar las plantas ya existentes, ya que entra dentro de lo posible un nuevo cambio de la situación y que vuelvan a operar en condiciones de diseño. (Cierre de nucleares, fin de la crisis y reactivación de la demanda, etc.)

## 1.2. Objetivos

El primer objetivo es describir la problemática a la que se enfrentan en la actualidad las CTCC, conocer las causas que han provocado el cambio en el modo de funcionamiento y los efectos que éste puede tener sobre los equipos.

Una vez definidas las características principales del funcionamiento cíclico y los problemas que origina, el estudio pretende aportar algunas propuestas encaminadas a minimizar dichos impactos.

## 1.3. Descripción del Problema

### 1.3.1. Breve Descripción del Funcionamiento de las CTCC

El funcionamiento de una CTCC está basado en la integración de dos tipos de ciclo a distintas temperaturas, uno abierto de aire-gases y otro cerrado de agua-

vapor, con el fin de generar potencia eléctrica mediante la transformación de la energía termodinámica de los fluidos en energía mecánica en las turbinas y ésta a su vez en energía eléctrica en el generador. Para ello dispone de una turbina de gas, (GT), una caldera de recuperación de calor para generación de vapor (HRSG), una turbina de vapor (HT) y un generador eléctrico con eje común a las turbinas.

Un compresor aporta el aire necesario para el proceso de combustión del gas natural en la cámara de combustión. Los gases de combustión a muy alta temperatura y presión se expanden accionando la turbina de gas, que reparte el trabajo mecánico entre el compresor de aire y el generador eléctrico donde se produce la electricidad. Los gases de escape de la turbina de gas, aun a temperatura elevada, se introducen en la caldera de recuperación de calor para transformar el agua en vapor a alta temperatura. Este vapor a su vez, se expande en la turbina de vapor generando nuevamente más electricidad en el alternador.

Finalmente, los gases de combustión son evacuados a unos 80°C por la chimenea mientras que el vapor de descarga de la turbina de vapor se condensa en el condensador y se bombea a la caldera de recuperación para repetir el ciclo.

### ***1.3.2. La transición al Funcionamiento Cíclico***

La primera central térmica de ciclo combinado inaugurada en España fue la central de San Roque en Cádiz en el año 2002. A partir de su puesta en funcionamiento, tal y como se aprecia en la tabla 1.1 la potencia instalada de ciclos combinados ha crecido ininterrumpidamente hasta el 2011, año en el que por primera vez desde 2002 ningún nuevo grupo se ha puesto en funcionamiento.

**Tabla 1.1** Potencia instalada en Centrales Térmicas de Ciclo Combinado (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Red Eléctrica Española, REE)

	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
<b>MW</b>	25.269	25.235	23.066	21.677	20.962	15.504	12.224	8.233	4.347	2.794
<b>Variación %</b>	0,1%	9,4%	6,4%	3,4%	35,2%	26,8%	48,5%	89,4%	55,6%	
<b>% sobre el total</b>	25%	25%	25%	24%	24%	20%	16%	12%	7%	5%
<b>Nuevos grupos</b>	0	4	3	1	11	6	8	10	3	5

Sin embargo, su aportación a la cobertura de la demanda, o lo que es lo mismo, la energía suministrada por esta tecnología, crece únicamente hasta el año 2008 para decaer a partir de entonces tanto en valor absoluto como en porcentaje, situándose en 2011 a un nivel similar al de 2005 como se aprecia en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2** Demanda cubierta por las Centrales Térmicas de Ciclo Combinado (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de REE)

	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
<b>GWh</b>	50.619	64.604	78.279	91.286	68.139	63.506	48.885	28.974	14.991	5.308
<b>Variación %</b>	-21,6%	-17,5%	-14,2%	34,0%	7,3%	29,9%	68,7%	93,3%	182 %	
<b>% sobre total</b>	20%	25%	31%	34%	26%	25%	20%	12%	7%	3%

En la tabla 1.3 se presenta la evolución sufrida por el rendimiento de las CTCC que evidencia como han pasado a funcionar en modo cíclico en los últimos años:

- Las horas de funcionamiento anuales por planta han disminuido en un 21,8%, pasando de 5.107 horas en 2005 a 3.993 en 2010.
- Los grupos han trabajado a cargas de trabajo más ineficaces que la carga base. Lo demuestra el hecho de que el rendimiento de las horas efectivas trabajadas haya pasado del 78,2 % al 64,3%, lo que supone una caída del 17,7%.

Todo ello ha provocado una disminución del rendimiento del 37% pasando del 50,9% en 2005 al 32% en 2010.

**Tabla 1.3** Eficiencia de las CTCC (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de REE)

<b>Año</b>	<b>Nº medio de horas anuales de funcionamiento por grupo</b>	<b>Producción real sobre la producción teórica de las horas reales trabajadas a carga base</b>	<b>Producción real sobre la producción teórica de las horas disponibles totales a carga base</b>
2010	3.993	64,3%	32,0%
2009	4.739	71,6%	42,1%
2008	5.740	73,4%	51,9%
2007	4.644	70,0%	40,1%
2006	5.537	74,0%	49,8%
2005	5.107	78,2%	50,9%

### ***1.3.3. Las Causas del Funcionamiento Cíclico de las CTCC***

A continuación se analizan un poco más en profundidad las causas principales que han provocado el funcionamiento cíclico de los ciclos combinados:

- La caída de la demanda energética debido a la crisis. En la tabla 1.4 se observa como la evolución de la demanda energética se ve influenciada por la situación económica, creciendo en años de expansión y decreciendo en años de recesión económica como la actual. A partir del año 2007 se aprecia una disminución tanto en el incremento del PIB como en la demanda de energía peninsular.
- El aumento de la demanda cubierta por las fuentes de energías renovables. Gracias principalmente al aumento de la potencia eólica instalada y en menor

medida también por las diferentes tecnologías solares, tal y como se muestra en la tabla 1.5, las CTCC han visto disminuida su aportación

Aun cuando el 2011 rompe la tendencia al alza debido a la fuerte caída de la demanda total, las fuentes de energías renovables han pasado de suministrar un 26% de la energía total demandada en 2003 a suministrar algo más de un tercio, el 35%, en 2011, ver tabla 1.5. De esta energía renovable, prácticamente la mitad, el 47,21% fue de origen eólico en 2011 mientras que en 2003 suponía únicamente el 20%. (El resto provenía básicamente de centrales hidráulicas.)

En cuanto a su aportación al total de la demanda, las fuentes eólicas han pasado de suministrar el 5% en 2003 a suministrar el 16% en 2011, lo que ha sido posible gracias a un aumento espectacular del 232% de su potencia instalada en el mismo periodo tal y como muestra la tabla 1.5.

**Tabla 1.4** Comparativa de la demanda energética peninsular y el incremento del PIB (Fuente: elaboración propia a partir de datos de REE y del Instituto Nacional de Estadística, INE)

	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004
<b>Variación PIB</b>	0,7%	-0,1%	-3,7%	1,2%	3,8%	3,9%	3,5%	3,2%
<b>Demanda GWh</b>	255.182	260.607	252.200	265.203	262.436	255.023	246.182	236.000
<b>Variación demanda</b>	-2,1%	3,3%	-4,9%	1,1%	2,9%	3,6%	4,3%	4,5%

**Tabla 1.5** Cobertura de la demanda peninsular por energías renovables y eólicas. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de REE)

	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003
<b>Renovables GWh</b>	88.400	100.519	77.425	64.708	62.318	56.220	47.311	53.164	58.482
<b>Demanda cubierta %</b>	35%	39%	31%	24%	24%	22%	19%	23%	26%
<b>Eólica GWh</b>	41.661	43.355	37.401	31.758	27.249	22.881	20.520	15.753	11.720
<b>Demanda cubierta %</b>	16%	17%	15%	12%	10%	9%	8%	7%	5%
<b>Porcentaje s/renovables</b>	47,12%	43,13%	48,30%	49%	43,72%	40,69%	43%	29,6%	20%
<b>Potencia eólica MW</b>	20.733	20.057	18.961	16.148	14.667	11.521	9.910	8.462	6.240

- La mayor flexibilidad de las CTCC. La mayor eficiencia y rapidez y el coste menor de los arranques respecto a las térmicas de carbón (Ugedo 2011) y las nucleares, hace que sean los ciclos combinados los elegidos para funcionar como suministradores de apoyo, funcionando cuando la demanda se dispara y permaneciendo inactivos el resto del tiempo.

### ***1.3.4. Los Impactos del Funcionamiento Cíclico en las CTCC***

Estas plantas fueron diseñadas para su funcionamiento en continuo, a carga base, durante muchas horas y con un reducido número de arranques y paradas que

además se debían producir de manera lenta y controlada, sin embargo, el funcionamiento cíclico ha alterado estos valores como se aprecia en la tabla 1.6.

**Tabla 1.6** Condiciones de funcionamiento. (Fuente: Ugedo 2011)

<b>Diseño original</b>	<b>Funcionamiento cíclico</b>
5.000-6.000 horas/año	2.000-3.000 horas/año
10-20 arranques/año	Más de 100 arranques/año
Funcionamiento a carga base	Variaciones de carga frecuentes

Los continuos arranques y paradas y las variaciones de carga en periodos cortos de tiempo provocan grandes diferencias de temperaturas y tensiones (estrés térmico y estrés de presión) en la turbina de gas, caldera de recuperación y turbina de vapor principalmente, incrementando fenómenos como la fatiga y la fluencia. La fatiga es la disminución de la resistencia mecánica de los materiales al someterlos a esfuerzos repetidos, hecho inherente al funcionamiento cíclico. La fluencia por su parte, es el cambio en la forma o en el tamaño que debido a la tensión y la temperatura sufren los materiales a lo largo del tiempo. Aunque es cierto que la fluencia se debe principalmente al funcionamiento en continuo y no cíclico, la interacción entre la fluencia y la fatiga es uno de los fenómenos que más puede contribuir al fallo de algún elemento de la planta. (Lefton et al. 2006).

A continuación se describen algunos de estos efectos sobre los equipos:

- Turbina de gas: Estrés térmico en rotor, carcasa, aislamiento interno y cámaras de combustión. Los arranques y paradas continuos aumentan las fuerzas cíclicas y las vibraciones acelerando la fatiga de materiales. Además al operar más tiempo con gas frío, aumentan la condensación de agua y la corrosión.
- Caldera de Recuperación de Vapor: El estrés térmico y las fuerzas cíclicas de expansión y compresión en haces tubulares y resto de tuberías aumentan. Las válvulas se ven sometidas a presiones diferenciales aumentando el número de averías. La capa de magnetita se debilita acelerando la corrosión,
- Turbina de vapor. Estrés térmico en rotor, carcasa y álabes. Los elementos internos se ven expuestos a niveles más altos de sílice y O<sub>2</sub> durante más tiempo con el consiguiente riesgo de corrosión. (Lefton et al. 2006)

## 1.4. Soluciones Propuestas

Las siguientes propuestas persiguen reducir los efectos del funcionamiento cíclico aumentando la fiabilidad y la disponibilidad de las instalaciones, reduciendo los costes correctivos y conservando la integridad de la planta.

### ***1.4.1. Diagnóstico Inicial***

Antes de nada es imprescindible realizar un diagnóstico de la nueva situación mediante el análisis exhaustivo de los informes de mantenimiento, los resultados de las inspecciones y las incidencias ocurridas desde que las plantas pasaron a funcionar en modo cíclico, últimos 3 o 4 años según el caso. Este análisis debe identificar los nuevos modos de fallo y jerarquizar los equipos atendiendo a su criticidad y exposición a los efectos negativos del funcionamiento cíclico.

### ***1.4.2. Modificación de los Planes Actuales de Mantenimiento***

Tras el diagnóstico se deben diseñar e implementar nuevos planes de mantenimiento, resulta absurdo mantener unos planes diseñados para unas condiciones de trabajo que ya no son las actuales. Técnicamente es una propuesta sencilla, ya que las empresas eléctricas cuentan con toda la información necesaria en las propias centrales y la experiencia de los operadores de planta y técnicos de mantenimiento. Probablemente debido al cambio de operativa se precise de algún tipo de reestructuración organizativa del personal y también algo de formación.

Económicamente tampoco presenta mayores problemas ya que el actual servicio de mantenimiento sería quien realizaría las nuevas tareas. Aunque sería necesaria cierta dotación económica para el diseño de los nuevos planes, dado que las empresas eléctricas cuentan con numerosas plantas de este tipo, el coste por planta de esta alternativa se vería reducido.

### ***1.4.3. Planificación de la Gestión de Repuestos***

El diagnóstico debería proporcionar también la relación de equipos críticos de los que debiera disponerse algún repuesto para reducir al máximo los tiempos de indisponibilidad de la planta por avería y evitar así las cuantiosas sanciones económicas que impone Red Eléctrica Española en caso de indisponibilidad.

Aunque técnicamente esta alternativa es aun más sencilla que la anterior, contar con un número elevado de repuestos puede resultar muy costoso debido al precio de ciertos equipos. No obstante, en el caso de aquellos equipos críticos con plazos de entrega elevados resulta imprescindible. Este coste se puede reducir con una buena planificación logística, organizando el reparto de los repuestos por las diferentes plantas de modo que se garantice a todas las centrales la disponibilidad de la totalidad de los repuestos en pocas horas.

### ***1.4.4. Operativa de Conservación para Largas Paradas***

Se debe diseñar e implementar un procedimiento de conservación de los equipos para aquellos periodos de larga duración en los que la planta permanece

inactiva. Dado que estos periodos dependen expresamente de la demanda energética, la aplicación de dicho procedimiento no es fácil de prever sin embargo dado los beneficios que presenta para alargar la vida útil de los equipos resulta evidente su necesidad. Se trata de una propuesta muy interesante ya que realizando algunas sencillas operaciones se puede incrementar significativamente la vida útil de los equipos, (p.ej. drenando, enjuagando con agua dulce y secando ciertos circuitos en contacto con agua salada se reduce el riesgo de oxidación).

Económicamente es una alternativa viable dado que al no estar la planta en funcionamiento, los propios operadores de planta disponen de más tiempo para llevar a cabo las nuevas tareas diseñadas. Por otra parte se deben incorporar equipos, como deshumidificadores o ventiladores que no son muy costosos.

## 1.5. Conclusiones

A la hora de decidir entre las alternativas propuestas, además de los medios técnicos, humanos y económicos disponibles, resulta imprescindible considerar la capacidad de poner la planta operativa en un plazo lo más corto posible para evitar las sanciones económicas que por indisponibilidad de la planta impone REE

La solución ideal, siempre en función de los medios disponibles y de los cambios que pudiera sufrir la demanda energética, resultaría de un mix de las alternativas descritas que configurarían entre todas un “Nuevo Modelo de Mantenimiento para las Centrales Térmicas de Ciclo Combinado”.

Este modelo permitiría salvaguardar de manera más efectiva la integridad de los equipos, aumentando su vida útil y mejorando su eficiencia, y evitaría así mismo el coste de las actuaciones que resultan innecesarias de los actuales planes.

## 1.6. Referencias

- Bancalari E, Chan P, (2005) Adaptation of the SGT6-6000G to a Dynamic Power Generation Market. POWER-GEN International 2005. Las Vegas, Nevada December 6-8th
- Emberger H, Hofmann D, Kolk C (2007) Economic evaluation of cycling plants. An approach to show the value of operational flexibility. Siemens Power Generation, Erlangen.
- Ladwig M, Stevens M (2011) KA26 Combined Cycle Power Plant as Ideal Solution to Balance Load Fluctuations. Hannover Messe, Power Plant Technology Forum 2011 Hannover.
- Lefton S, Besuner P, Agan D (2006) The real cost of on/off cycling. Modern Power Systems. October 2006.
- Red Eléctrica Española. El sistema eléctrico español. Informes anuales 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011. [www.ree.es](http://www.ree.es).
- Sanjuan J, (2011) El futuro del sistema eléctrico español. La visión de los productores: Centrales de Ciclo Combinado.
- Ugedo J (2011) Situación actual y futuro de la tecnología de la generación térmica. Seminario permanente de tecnologías energéticas. 27 abril 2011