

Documento técnico RB7

# EL FUELOIL PESADO Y SUS EFECTOS CORROSIVOS EN LA COMBUSTIÓN INDUSTRIAL

**rb bertomeu, S.L.**  
Dpto. Técnico  
Revisado Mayo 2016

## ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.

2.- CARACTERÍSTICAS DEL FUELOIL PESADO.

3.- REACCIONES DE LA COMBUSTIÓN DEL FUELOIL PESADO.

4.- FUNDAMENTOS DE LAS CORROSIONES EN EL CIRCUITO DE GASES.

5.- TEMPERATURAS EN LA COMBUSTIÓN DEL FUELOIL PESADO.

6.- EXPERIENCIA DE “rb bertomeu, S.L.” EN PLANTAS DE COGENERACIÓN / GENERACIÓN ELÉCTRICA.

7.- TRASLADO DE LA EXPERIENCIA EN MOTORES DE PLANTAS DE COGENERACIÓN A CALDERAS DE VAPOR CON QUEMADORES.

8.- TRASLADO DE LA EXPERIENCIA EN GRANDES MOTORES DE PLANTAS DE COGENERACIÓN A TURBINAS DE GAS ALIMENTADOS CON FUEL OIL O PETROLEO CRUDO.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El presente estudio se ha realizado para ofrecer una visión global de los problemas de corrosión que existen cuando se utiliza fueloil, en las plantas de generación eléctrica, aprovechando la experiencia adquirida por “**rb bertomeu, S.L.**” en distintas plantas.

En él, se exponen las circunstancias que rodean al fuelóleo y su combustión y se traza un paralelismo para extrapolar la citada experiencia a las turbinas de gas y las calderas de generación de vapor con la finalidad de sugerir que los logros conseguidos en las plantas de cogeneración / generación eléctrica con motores puedan ser aprovechados perfectamente en este otro tipo de plantas.

## 2.- CARACTERÍSTICAS DEL FUELOIL PESADO

Es un producto residual de la destilación del petróleo que puede proceder de una sola etapa de destilación, o ser mezcla de productos procedentes de distintas etapas, a fin de ajustar las características a las diferentes especificaciones en función del tipo de fueloil a producir.

En general, el fuelóleo es un sistema heterogéneo complejo formado por:

- a.- Hidrocarburos líquidos cuyo nº de átomos de carbono es  $> 20$ .
- b.- Hidrocarburos sólidos emulsionados en la fase líquida.
- c.- Hidrocarburos gaseosos disueltos o emulsionados en la fase líquida.
- d.- Agua emulsionada en la fase líquida.
- e.- Sales metálicas disueltas en el agua emulsionada.
- f.- Metales ocluidos.
- g.- Compuestos organometálicos o inorganometálicos formando parte de la fase líquida o de los sólidos emulsionados.
- h.- Componentes de Azufre.

En el estudio que nos ocupa, son de gran importancia los puntos d, e, f, g, h, que juntos constituyen lo que se denomina [impurezas del fuel](#), y dan lugar a diferentes tipos de [corrosiones](#) en el circuito de gases al utilizar el fueloil como combustible, como se verá en el capítulo 4.

El agua emulsionada, generalmente está saturada de NaCl y suele contener también, pequeñas cantidades de carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio.

Los metales presentes, bien en forma atómica, de óxidos o como sales de ácidos orgánicos o inorgánicos, son muy variados además del Na, Ca y Mg ya mencionados. Los más importantes, tanto por su implicación en los procesos de corrosión como por su abundancia son:

Vanadio (V)  
Níquel (Ni)  
Hierro (Fe)  
Aluminio (Al)  
Zinc (Zn)  
Cobre (Cu)

El azufre está presente tanto en estado libre como combinado bajo formas muy diversas. Las más características son:

- Mercaptanos (R - SH)
- Sulfuros y Disulfuros (R - S - R , R - S - S- R)
- Compuestos cíclicos (Tiofeno, Sulfuro de etileno)
- Sulfonas (R<sub>1</sub> - SO<sub>2</sub> - R<sub>2</sub>)
- Sulfóxidos (R<sub>1</sub> - SO - R<sub>2</sub>)
- Acidos sulfónicos (R - SO<sub>3</sub>H)

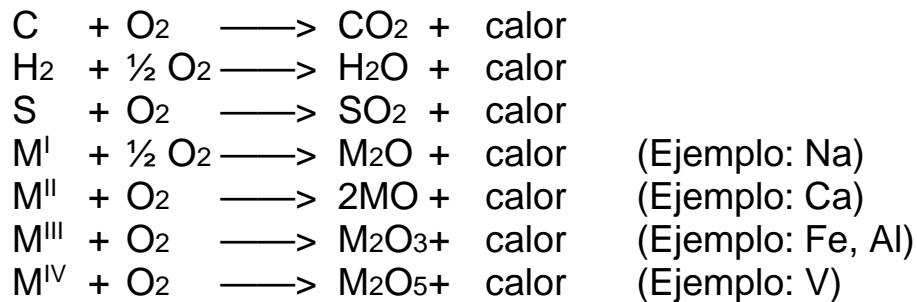
La cantidad total de azufre y la distribución cuantitativa del tipo de compuestos que forma depende mucho de la procedencia del crudo de petróleo destilado, si bien este detalle no es ciertamente importante por cuanto al quemarse, todo [el azufre se oxida a SO<sub>2</sub>](#) independientemente de la forma en que se encuentre.

### 3.- REACCIONES DE LA COMBUSTIÓN DEL FUELOIL

La combustión del fueloil (o cualquier otro combustible) se define como la oxidación rápida de todos y cada uno de los elementos que lo constituyen originándose un desprendimiento de calor.

Para quemar un combustible es necesario, pues, la presencia de oxígeno, el cual se aporta en forma de aire de combustión que como es sabido contiene básicamente un 21 % de O<sub>2</sub> y un 79 % de N<sub>2</sub>.

En esencia, las reacciones principales que ocurren en la combustión, pueden sintetizarse en:

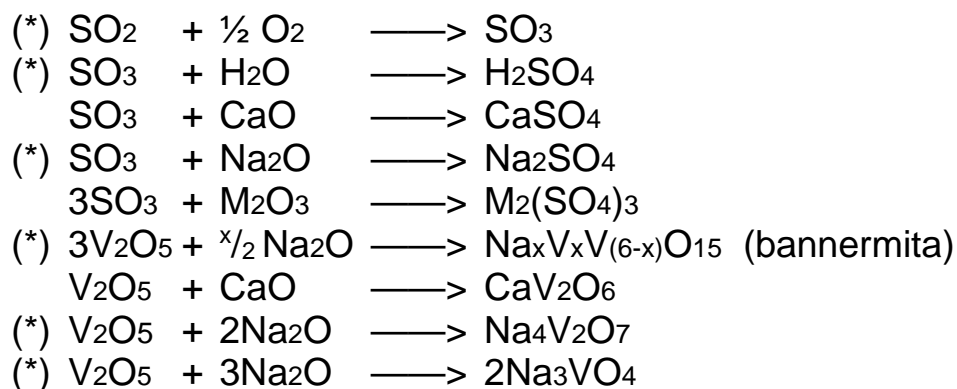


M significa metal de valencia I a V.

Los más importantes en cuanto a aprovechamiento energético del combustible son las 3 primeras, es decir, la oxidación del C, H<sub>2</sub> y S, por este orden.

Una vez completadas estas reacciones, o paralelamente a ellas, tienen lugar otras menores relacionadas siempre con las impurezas del fuelóleo (Azufre y metales), que en algunos casos están relacionadas con los procesos de corrosión que ocurren en el circuito de gases.

Entre ellas, y a título de ejemplo podemos citar las siguientes:



La relación no es exhaustiva, pero recoge las reacciones más importantes y las que están directamente ligadas con la aparición de corrosiones (señaladas con (\*)).

En el capítulo 4 se estudian con mayor detalle los mecanismos de corrosión citadas.

Cabe señalar en este punto, que si el fueloil fuera un combustible exento de Azufre y metales, no generaría, durante su combustión, compuestos nocivos para las partes metálicas de los circuitos de gases.

## **4.- FUNDAMENTOS DE LAS CORROSIONES EN EL CIRCUITO DE GASES**

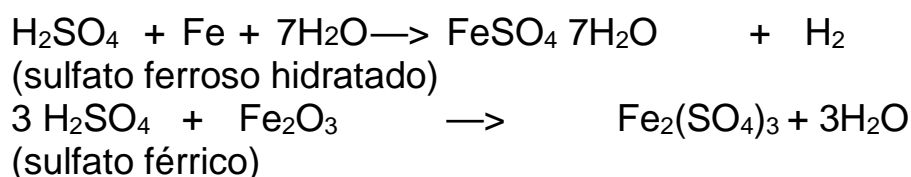
### **A) CORROSIÓN DEBIDA A COMPUESTOS DE AZUFRE.**

Ya se ha descrito la reacción de oxidación del SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> y la combinación de éste con el vapor de H<sub>2</sub>O de los gases para formar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Cabe matizar que la reacción SO<sub>2</sub> → SO<sub>3</sub> es catalizada por la presencia de óxidos metálicos, y muy especialmente por el pentóxido de vanadio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Por lo tanto, cuanto más vanadio contenga el fueloil y cuanto más se tarde en transformar el V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a una forma menos activa catalíticamente (vanadatos alcalino-térreos), mayor será la cantidad de SO<sub>3</sub> formada y por tanto existirán más posibilidades de que se forme ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

El equilibrio de la reacción SO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se sitúa entre 200° y 500° C. Por debajo de 200° C se tiene H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en forma de vapor semi-corrosivo, mientras que por encima de los 500° C el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> es muy inestable y se disocia en SO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O. Entre ambas temperaturas, coexiste el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> vapor con el SO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O.

El H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> vapor, empieza a condensar por debajo de los 150° C aproximadamente con lo que se convierte en altamente corrosivo al atacar las superficies ferrosas según las reacciones:



Es obvio que este tipo de corrosión solamente ocurrirá en el circuito de gases, en puntos donde la temperatura sea inferior a los 200° C, y especialmente si ésta baja de los 150° C. Es decir, en cola de las instalaciones de combustión (depuradoras de gases, chimeneas, etc.).

El SO<sub>3</sub> formado puede combinarse con los óxidos metálicos presentes para formar sulfatos (ver capítulo 3).

De todos los sulfatos metálicos que pueden formarse, está admitido que el sulfato sódico (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) es el principal responsable de la corrosión de las superficies metálicas. Todas las sales sódicas son muy poco corrosivas a temperatura ambiente, pero a temperaturas elevadas la velocidad de corrosión se incrementa espectacularmente cuando se alcanza el punto de fusión de la sal. En el caso del Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, que funde a 888° C, cuando contacta fundido con superficies ferrosas, se produce corrosión del hierro, probablemente por formación de sulfatos dobles de Fe y Na. El mecanismo real no es demasiado conocido, aunque tal como se ha dicho antes, es ampliamente admitido el efecto corrosivo del sulfato sódico a alta temperatura.

Este tipo de corrosión ocurrirá, pues, en zonas del circuito sometidas a alta temperatura, cercanas por lo tanto al foco de la combustión y antes de que el efecto diluido del aire haga bajar la temperatura más allá de los 850° C.

## **B) CORROSIÓN DEBIDA A COMPUESTOS DE VANADIO.**

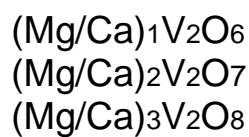
El vanadio forma varios óxidos tales como V<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>4</sub> y V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. El carácter ácido aumenta con el grado de oxidación por lo que el V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (pentóxido) es el de mayor carácter ácido y por tanto el más corrosivo. Por otra parte, en las condiciones de la combustión donde existe gran exceso de O<sub>2</sub> y alta temperatura, cualquier forma de [vanadio presente en el fuelóleo](#) tendrá tendencia a oxidarse a la forma V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por lo que su presencia será segura en los gases de combustión y en estado líquido (funde a 690° C) lo que origina dos efectos altamente nocivos:

- Catálisis de la oxidación de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>.
- Corrosión por ataque de las superficies metálicas para formar metavanadatos de hierro (Fe(VO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>).



Dado que en el fueloil también están presentes otros metales (ver capítulos 2 y 3), parte del  $V_2O_5$  tiene tendencia, por su reactividad, a formar sales (vanadatos) preferentemente con los metales alcalinos y alcalino-térreos.

Los vanadatos alcalino-térreos poseen un punto de fusión elevado, del orden de  $1100 - 1200^\circ C$  por lo que en general, después de la combustión se encontrarán en estado sólido, en forma de polvo que será arrastrado por los gases. Como representativo de este tipo de sales, podemos encontrar los vanadatos de calcio y magnesio:



Los vanadatos alcalinos, principalmente los distintos vanadatos sódicos presentan un punto de fusión mucho más bajo (de  $350^\circ$  a  $650^\circ C$ ) por lo que en una amplia zona del circuito de gases se encuentran en estado líquido. Dichos vanadatos son muy reactivos con el hierro y óxidos de hierro, disolviéndolos para formar vanadatos o sulfovanadatos dobles, sobre todo en presencia de sulfato sódico.

La temperatura de fusión de los diferentes vanadatos sódicos que pueden formarse viene dada por la relación de pesos moleculares  $V_2O_5/Na_2O$ , según la siguiente tabla:

<u>Rel. <math>V_2O_5/Na_2O</math></u>	<u>Tª Fusión <math>^\circ C</math></u>
0 .....	400
1 .....	550
2 .....	450
3 .....	350
4 .....	530
6 .....	580
8 .....	620
10 .....	640
$\infty$ .....	690

Vemos pues, que en el circuito de gases, existe gran probabilidad de encontrar vanadato sódico en estado líquido, corrosivo, sobre todo cuando la relación molar  $V_2O_5/Na_2O$  sea del orden de 3. No obstante,



aunque dicha relación sea más alta o más baja, en una instalación de combustión del tipo motor, turbina de gas o caldera, existen muchas zonas importantes de partes metálicas sometidas a temperaturas mayores de 690° C, por lo que los efectos corrosivos de los vanadatos alcalinos están prácticamente asegurados.

Llegados a este punto, la pregunta es: ¿Si en el fueloil existen impurezas de S, V y Na, será inevitable la formación de sulfato sódico y vanadato sódico corrosivos? Ciertamente, así es salvo que se introduzcan factores de corrección en el proceso. Dichos factores deben cumplir 2 requisitos para evitar o minimizar este tipo de corrosiones.

a) Puesto que básicamente el Na se encuentra disuelto en el agua del fueloil, ésta debe separarse a fondo por decantación, centrifugado, etc. con lo que el Na enviado a la combustión será mucho menor.

b) Puesto que el Vanadio se encuentra en el fueloil en forma soluble y no es posible separarlo por decantación ni centrifugación, [se debe favorecer la formación rápida de vanadatos alcalino-térreos](#) (Ca, Mg) en la combustión con dos finalidades:

b-1) Evitar la acción catalítica del  $V_2O_5$  sobre la reacción  $SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow SO_3$ .

b-2) Aumentar la temperatura de fusión de los vanadatos para que sean arrastrados en forma de polvo.

### **C) EL MAGNESIO SOLUBLE (MOLECULAS) NEUTRALIZA LA CORROSIÓN PRODUCIDA POR COMPUESTOS DE VANADIO Y SODIO**

Para evitar la corrosión por Vanadio y Sodio en MOTORES y TURBINAS de GAS usando aditivos con Magnesio, inhibidor de la corrosión provocada por el Vanadio y el Sodio y **no producir daños por rayado ni por impacto** en las bombas, toberas, álabes, rotores y turbinas, solo es posible hacerlo cuando el Magnesio está en forma de [Sales Orgánicas de Magnesio de Ácidos Grasos SOLUBLES en HIDROCARBUROS](#), tal como ocurre con los aditivos [“rb bertomeu”](#) donde el Magnesio se encuentra en forma de moléculas.

Dependiendo de las necesidades y requerimientos concretos, los aditivos “**rb bertomeu**” se suministran con hasta un 30% p/p de Magnesio y porcentajes variables de otros componentes.

El proceso de síntesis química realizado por “**rb bertomeu**” produce las mencionadas Sales Orgánicas de Ácidos grasos totalmente solubles en hidrocarburos donde [el Magnesio se encuentra a nivel de iones de  \$Mg^{2+}\$  de 72 picometros de radio \(un picometro es 1.000 veces menor que un nanometro\)](#).

La reactividad superficial de estos iones de Magnesio respecto a otros materiales convencionales (óxidos e hidróxidos de magnesio) es del orden de 10 veces superior si se encuentran en forma de partículas nanométricas y 100 veces superior si son partículas micrométricas.

Los aditivos con Magnesio soluble producidos por “**rb bertomeu**” son los más reactivos que se conocen para neutralizar las corrosiones por Pentóxido de Vanadio y Vanadatos de Sodio y no pueden producir daños por impactos e incrustaciones de partículas sólidas porque el magnesio se encuentra en forma de moléculas. El hecho de estar en forma molecular le proporciona un área activa ( $\sim 1.800 \text{ m}^2/\text{g}$  de Mg) entre 10 y 100 veces superior a la de las nanopartículas, aumentando con ello en un factor proporcional su reactividad química.

En el momento de la combustión, el Magnesio SOLUBLE de los aditivos “**rb bertomeu**” reacciona con los Óxidos de Vanadio formando Vanadatos de Magnesio de altos puntos de fusión (superior a los  $1.200^\circ\text{C}$ ), sólidos y no corrosivos a la temperatura interna de los gases.

La acción de fijación de metales pesados (Vanadio), se traduce también en una disminución de la oxidación de  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$  (formado a partir del Azufre del fueloil), al minimizar su acción catalítica sobre la reacción; como consecuencia disminuye la formación de Sulfato Sódico ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) que funde a  $888^\circ\text{C}$  y la aparición de condensaciones de Ácido Sulfúrico al enfriarse los gases de combustión disminuye y con ello las corrosiones en frío.

La molécula de Magnesio (Mg), se integra en la molécula de Vanadato, junto con el resto de residuos sólidos de la combustión (por ejemplo,  $\text{MgV}_2\text{O}_6$  o  $\text{Mg}_3\text{V}_2\text{O}_8$ ). El resto de componentes orgánicos de los aditivos

“**rb bertomeu**”, incluido el anión orgánico que ha soportado al Magnesio en forma soluble, se quema durante la combustión, generando gases residuales de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , como el propio fueloil, y no generando ningún residuo sólido.

Las sales de Magnesio formadas en la combustión son inertes, como pueden serlo las sales de Calcio, que también se forman a partir del calcio contenido en el propio fueloil y el Calcio contenido en el aceite del motor que se quema.

**Los daños teóricos<sup>1</sup> que, por impactos o incrustaciones, podrían provocar en la cámara de combustión las partículas micrométricas en suspensión del Óxido o Hidróxido de Magnesio (caso de ciertos aditivos), no se puede dar en el caso del aditivo “rb bertomeu” beco **Mg**, porque no hay ni Oxido ni Hidróxido de Magnesio presente, ni sólido ni líquido y ni antes ni después de la combustión. En el aditivo “rb bertomeu” beco **Mg** el Magnesio se encuentra en forma de Sal Orgánica de Magnesio de Ácidos Grasos (moléculas) SOLUBLE en HIDROCARBUROS.**

## 5.- TEMPERATURAS EN LA COMBUSTIÓN DEL FUELÓLEO

Es de sobras conocido y fácil de calcular el caudal de aire estequiométrico necesario para conseguir la combustión de Kg. de fueloil, según las reacciones descritas en el capítulo 3.

Suponiendo un tipo de fueloil standard con una potencia calorífica inferior de 9.500 Kcal/Kg., que se quema con aporte de aire a 20°C y 60% de HR, la temperatura de los gases de combustión, en función del aire total aportado (aire de combustión en exceso más aire de dilución), sería aproximadamente la siguiente (despreciando pérdida de calor por disipación):

---

<sup>1</sup> Las partículas de Oxido de Magnesio y de Hidróxido de Magnesio, que son minerales sólidos, pueden dañar el sistema de inyección del fuel. Las bombas de inyección de los motores alimentados con fueloil tienen el embolo/pistón ajustado aproximadamente a 1 micra y trabajan bajo una presión de 400-500 bares. Las partículas de Oxido de Magnesio y de Hidróxido de Magnesio podrían causar averías en el sistema de inyección.

<u>Exceso aire total sobre estequiométrico</u>	<u>Temp. gases</u>
0 % .....	2.060° C
5 % .....	1.985° C
10 % .....	1.920° C
20 % .....	1.800° C
50 % .....	1.500° C
100 % .....	1.200° C
150 % .....	990° C
200 % .....	850° C
250 % .....	740° C
300 % .....	660° C

Las temperaturas reales dependerán de las pérdidas de calor debidas a conducción, convección y radiación del equipo, pero, en general pueden tomarse entre un 5% y un 10% por debajo de las teóricas sin cometer error apreciable.

Se observa que en una instalación industrial de combustión, del tipo motor o turbina de gas, donde el aire total aportado oscila entre el 150% y el 300% sobre el estequiométrico necesario para la combustión, van a existir zonas metálicas sometidas a temperaturas entre 600 ° C y 1.000° C. Lógicamente ello corresponde a zonas cercanas al foco de la combustión, cuando ya se ha producido enfriamiento por dilución con aire de los gases generados en la combustión propiamente dicha.

Ejemplos:

A) En los motores y turbinas de gas, que trabajan con un exceso de aire del 200% al 300%, la temperatura inicial de la combustión será instantáneamente de aproximadamente 2.000°C, pero bajará rápidamente hasta los 700 – 800 °C en las válvulas de escape de motores y a los 1.000-1.300° C a la entrada de la turbina de gas. Posteriormente, debido a las elevadas pérdidas de calor del circuito, se tendrán alrededor de 500-600°C en los turbos de motores y entre 400-650°C a la salida de la turbina de gas y más tarde, 200 - 250° C a la salida de las calderas de vapor de la planta de cogeneración.

B) En las calderas de vapor (con quemador) se tendrán alrededor de 1.200 - 1.500 °C en la zona del hogar y unos 800 - 900° C en la zona de contacto de los gases con los tubos del recalentador.

## 6.- EXPERIENCIA DE “rb bertomeu, S.L.” EN PLANTAS DE COGENERACIÓN / GENERACIÓN ELÉCTRICA

Desde hace años, “rb bertomeu, S.L.” viene estudiando los problemas de corrosión que se presentan en las plantas de cogeneración que utilizan fueloil como combustible. De este estudio hemos extraído las siguientes conclusiones:

- a) El fuelóleo siempre contiene impurezas, aunque en proporciones variables según su procedencia.
- b) Se producen corrosiones parciales y totales (soplados) en las válvulas de escape de los motores, tanto mayores cuanto mayor es la cantidad de vanadio y sodio presentes en el fueloil. La temperatura en este punto es de alrededor de 800° C.
- c) Se producen depósitos de residuos sólidos en las válvulas de escape de los motores, colectores de gases y turbos, directamente proporcionales al contenido de vanadio del fueloil y de calcio (TBN) en el aceite del motor.
- d) No se producen corrosiones en puntos del circuito cuya temperatura está comprendida entre los 350 y los 200 °C.

Teniendo en cuenta estas conclusiones, y los razonamientos expuestos en el capítulo 4, hemos desarrollado un tratamiento que logra evitar o cuando menos minimizar los [problemas de corrosión y soplado de las válvulas de escape de los motores](#), que, recordemos, es el punto donde la temperatura es más crítica en relación a las posibles sales fundidas presentes.

Este logro viene avalado por los usuarios de nuestros aditivos “rb bertomeu” que han podido comparar resultados con situaciones anteriores cuando no efectuaban el tratamiento específico actual.

Paralelamente a la eliminación de la corrosión se ha conseguido también reducir en un 70-80% la deposición de residuos sólidos duros en los vástagos de las válvulas de escape, colectores y turbos.



Todo ello se ha traducido en un [aumento de la vida útil de las válvulas](#), en un mejor funcionamiento de los motores por mantenimiento del circuito de escape de los gases sin obstrucciones, y en una mayor capacidad de producción por disminución de las necesidades de mantenimiento entre revisiones programadas.

Recordando lo que se ha comentado en el capítulo 4, el tratamiento diseñado por “**rb bertomeu, S.L.**” consiste en la aplicación de un aditivo cuyos componentes desarrollan los siguientes efectos con relación a la corrosión:

A.- Favorecer la decantación del agua, contenida en el fueloil, en el tanque de almacenamiento, a fin de que sea arrastrada la mayor cantidad posible de sales de sodio. De esta forma se minimiza la formación de sulfato y vanadato sódicos. El agua decantada debe ser eliminada periódicamente del tanque por sangrado o por centrifugación en las depuradoras del fueloil.

B.- Lograr una perfecta pulverización del fueloil a fin de eliminar residuos carbonosos que puedan actuar como base de adhesión de residuos salinos.

C.- Neutralizar el  $V_2O_5$  (Pentóxido de Vanadio) obteniendo vanadatos alcalino-térreos de punto de fusión elevado, en el mismo momento de la combustión, con lo que consigue:

- eliminar la corrosión por  $V_2O_5$ .
- eliminar la aparición de vanadatos de sodio de bajo punto de fusión.
- obtener vanadatos de punto de fusión elevado ( $> 1.200^{\circ} C$ ) que son arrastrados por la corriente de gases de combustión sin que se depositen en el circuito.

D.- neutralizar la formación de Trióxido de Azufre ( $SO_3$ ), inhibiendo la posible formación de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y de Sulfato Sódico ( $Na_2SO_4$ ).

Para mayor desarrollo de estos puntos, vea el documento “[Acciones y beneficios de los aditivos para fueloil ‘rb bertomeu’](#)”

## 7.- TRASLADO DE LA EXPERIENCIA EN MOTORES DE PLANTAS DE COGENERACIÓN A CALDERAS DE VAPOR CON QUEMADORES

Esencialmente, el proceso es el mismo en un motor diésel con fuelóleo que en una caldera de producción de vapor con quemadores de fuelóleo. La única diferencia puede ser el exceso de aire circulante respecto al teórico estequiométrico, en función del tipo de instalación de que se trate. Por ello, la distribución de temperaturas puede variar, pero, inevitablemente, en una caldera de vapor, la corriente de gases calientes procedentes del hogar se hallarán a temperaturas de 600 – 900 °C en la zona de intercambio de calor aire - agua (tubos de intercambio o recalentadores).

En cuanto a efectos de corrosión, este punto (recalentadores) sería el equivalente a las válvulas de escape de un motor alimentado con fuelóleo. Por tanto, si allí se producen corrosiones y acumulaciones de residuos sólidos, es lógico pensar que los mismos efectos se registren también en los tubos de intercambio de la caldera, lo que se debe traducir en 2 situaciones negativas:

- Disminución de la vida útil de los haces de tubos de las calderas.
- [Formación de costras en los tubos, que disminuyen el coeficiente de transmisión de calor, y, por tanto, el rendimiento energético de la misma.](#)

El segundo efecto es obvio y no necesita demostración si tenemos en cuenta los principios de termodinámica, aplicados a la transmisión de calor a través de una superficie determinada.

El primer efecto, corrosión de los tubos, entendemos que es un parámetro medible, sobre todo si en la instalación se dispone de estadística de medición de espesores de los tubos a lo largo de varios años.

El sistema para comprobar la evolución de la corrosión de la pared exterior de los tubos (parte en contacto con los gases) debería ser el siguiente:

- Medición anual del diámetro exterior de los tubos previo raspado para eliminar la costra de residuos sólidos.



- Medición anual del espesor de la pared de los tubos, para verificar si existe o no corrosión por la pared interna (parte en contacto con el agua - vapor).

Con ello se deben obtener los suficientes datos para seguir la evolución del estado de la parte más crítica de la caldera, y evaluar la posible vida de la misma. Igualmente, a través de ellos, se puede determinar la conveniencia económica del uso de los aditivos “**rb bertomeu**”, que, tal como se ha relatado a lo largo de este estudio, es el camino para evitar corrosiones y alargar notablemente la vida útil del equipo.

## **8.- TRASLADO DE LA EXPERIENCIA EN GRANDES MOTORES DE PLANTAS DE COGENERACIÓN A TURBINAS DE GAS ALIMENTADOS CON FUEL OIL O PETROLEO CRUDO**

Esencialmente el proceso de combustión es el mismo en un motor diésel que en una turbina de gas, ambos alimentados con fueloil.

Las temperaturas en ambas cámaras de combustión son de aproximadamente de 2.000 °C. La temperatura a la salida de las válvulas de escape de los motores es de 700-800 °C y la entrada al turbocompresor del motor entre 500 y 600 ° C.

La temperatura a la entrada de la turbina de gas es de 1.000-1.300 °C y la salida de la turbina de gas entre 450-600 °C.

En cuanto a efectos de corrosión / neutralización de la corrosión, los álabes de la turbina de gas serían el equivalente a las válvulas de escape de un motor, en ambos las temperaturas de gas están dentro del rango de temperaturas donde se producen las reacciones corrosivas del Vanadio y del Sodio.

En el momento de la combustión, el Magnesio SOLUBLE de los aditivos “**rb bertomeu**” reacciona con los Óxidos de Vanadio formando Vanadatos de Magnesio de altos puntos de fusión (superior a los 1.200°C), sólidos y no corrosivos a la temperatura interna de los gases del motor o de la turbina de gas, neutralizando así la corrosión provocada por el Vanadio y el Sodio.

- a) Se neutraliza el  $V_2O_5$  (Pentóxido de Vanadio) obteniendo vanadatos alcalino-térreos de punto de fusión elevado, en el mismo momento de la combustión, con lo que consigue:

- eliminar la corrosión por  $V_2O_5$ .
- eliminar la aparición de vanadatos de sodio de bajo punto de fusión.
- obtener vanadatos de punto de fusión elevado ( $> 1.200^\circ C$ ) que son arrastrados por la corriente de gases de combustión sin que se depositen en el circuito.
- neutralizar la formación de Trióxido de Azufre ( $SO_3$ ), inhibiendo la posible formación de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y de Sulfato Sódico ( $Na_2SO_4$ ).

b) Se favorece la decantación del agua, contenida en el fueloil, en el tanque de almacenamiento, a fin de que sea arrastrada la mayor cantidad posible de sales de sodio. De esta forma se minimiza la formación de sulfato y vanadato sódicos. El agua decantada debe ser eliminada periódicamente del tanque por sangrado o por centrifugación en las depuradoras del fueloil.

c) Se logra una perfecta pulverización del fueloil a fin de eliminar residuos carbonosos que puedan actuar como base de adhesión de residuos salinos.