

**ENSAYOS DE ADITIVACION DEL FUELOLEO
REALIZADOS EN LA PLANTA DE COGENERACION
DE LA EMPRESA “Gallega de Cogen”**

Documento técnico RB6

rb bertomeu , S.L.
Departamento Técnico
Enero – 1998
Actualizado Enero - 2017

INDICE

1 - INTRODUCCION

2 - ORGANIZACION DEL ENSAYO

3 - ANALISIS DE LOS COMBUSTIBLES UTILIZADOS

4 - RESULTADOS COMPARATIVOS OBTENIDOS

4 . 1 - CONSUMO DE ENERGIA

4 . 2 - FACTOR DE SERVICIO

4 . 3 - CORROSION DE VALVULAS DE ESCAPE

4 . 4 - OTROS RESULTADOS NO COMPARATIVOS

5 - VALORACION ECONOMICA DE LOS RESULTADOS

6 – RESUMEN A ENERO DE 1998

7 – ACTUALIZACIÓN A ENERO DE 2017

ANEXO : Reportaje fotográfico de la revisión general del motor nº 2 de En-98

No se incluye el citado ANEXO por ser demasiado extenso

1 - INTRODUCCION

Durante el primer trimestre de 1997, fue pactada la realización de unos ensayos de aditivación del fuelóleo consumido en plantas de Cogeneración, entre la empresa **Gallega de Cogen**, propietaria de las plantas, y la empresa **rb bertomeu S.L.**, fabricante de aditivos para combustibles líquidos.

Los ensayos se plantearon con la finalidad de verificar la eficacia de los aditivos “**rb bertomeu**” para fuelóleos, sobradamente demostrada ya en otras muchas plantas de cogeneración, y tratar de cuantificar el beneficio económico que podría obtener Gallega de Cogen con el uso sistemático de los citados aditivos.

Gallega de Cogen decidió posteriormente que los ensayos fueran realizados en la Planta de Cogeneración de San Cibrao, donde hay instalados 2 motores Wartsila 18V32 con una capacidad total de producción de 12,6 Mwe, y que los citados ensayos comenzaran a primeros del mes de Agosto de 1997, inmediatamente después de la revisión general de los 2 motores que debía realizarse durante el mes de Julio. La duración aproximada de los ensayos se estableció en 6 meses, al final de los cuales, **rb bertomeu S.L.** elaboraría el correspondiente informe.

Estas revisiones fueron realizadas en las siguientes fechas :

Motor nº 2 : el 14-Julio-97 , con 21.083 horas de marcha total

Motor nº 1 : el 28-Julio-97 , con 21.429 horas de marcha total

rb bertomeu S.L. , estuvo presente en estas revisiones , inspeccionando las válvulas de los motores y realizando los oportunos pesajes de residuos adheridos y reportajes fotográficos de todas ellas .

Así mismo, **rb bertomeu S.L.**, suministró e instaló, conjuntamente con Gallega de Cogen, una bomba para la dosificación del aditivo en la línea de descarga de las cisternas de fuelóleo.

rb bertomeu S.L., suministró el aditivo “**rb bertomeu**” [beco F1/ASF](#), así como la documentación reglamentaria de seguridad relativa al producto.

El presente informe, elaborado por **rb bertomeu S.L.**, describe la realización de los ensayos y presenta los resultados obtenidos en el período comprendido entre el 1 de Agosto y el 31 de Diciembre de 1997 (5 meses) a la consideración de **Gallega de Cogen**.

2 - ORGANIZACION DEL ENSAYO

El ensayo fue planteado por **rb bertomeu S.L.** en colaboración con el personal técnico de **Gallega de Cogen**, de forma que se pudieran obtener el mayor número de datos posible del período de prueba y de los mismos meses correspondientes a los 2 años anteriores para que pudieran ser usados a efectos comparativos. Así, se definió la toma de datos siguiente:

<u>Datos</u>	<u>Responsable</u>
1-Producción mensual de energía por motor	Planta
2-Consumo mensual de fuelóleo	Planta
3-Análisis mensual del fuelóleo recibido	Planta
4-Análisis mensual del fuelóleo antes y después depuradora	Planta
5-Consumo mensual de aceite por motor	Planta
6-Horas de parada y motivos por motor	Planta
7-Control de horas de limpieza depuradoras y costo	Planta
8-Control de lodos de fuelóleo generados en tanque y depuradora	Planta
9-Control de lodos de aceite motor generados	Planta
10-Coste de manipulación de todos los lodos generados	Planta
11-Control de la evolución de la Tª motor a carga constante	Planta
12-Análisis mensual puntual de gases de escape de los motores	rb bertomeu
13-Pesaje de residuos en válvulas, en las revisiones de Motores, al iniciar y acabar el ensayo	rb bertomeu
14-Reportaje fotográfico de las válvulas, en las revisiones de Motores, al iniciar y acabar el ensayo	rb bertomeu
15-Confección de gráficas y tablas de datos obtenidos	rb bertomeu
16-Control del consumo real de aditivo	rb / Planta
17- Realización del informe final	rb bertomeu

Todos los punto excepto los 7 , 8 , 9 y 10 han sido controlados en el período del ensayo .

De los años anteriores, 1995 y 1996, solamente ha sido posible obtener los datos correspondientes a los puntos 1 , 2 , 5 y 6 . Parcialmente se ha determinado también el punto 3, para el año 1996.

3 - ANALISIS DE LOS COMBUSTIBLES UTILIZADOS

Hasta el comienzo del ensayo la planta venía utilizando fuelóleo N° 1 BIA, del cual se han podido recopilar los análisis realizados durante el primer semestre de 1997. No ha sido posible disponer de datos relativos a 1995 y 1996. A partir del comienzo del ensayo se cambió a fuelóleo N° 1, combustible con más impurezas que el fuelóleo N° 1 BIA como se observa en los datos de análisis comparativos, y del que, por lo tanto, caben esperar más problemas en su manejo y combustión .

Los análisis medios obtenidos, en sus datos más relevantes, son los siguientes:

	(A) Fuelóleo N° 1 BIA	(B) Fuelóleo N° 1	(B)-(A) Dif. %
P.C.S. (Kcal/Kg)	10.312	10.164	- 1,44
P.C.I. (Kcal/Kg)	9.773	9.631	- 1,45
Vanadio (ppm)	27	45	+ 66,6
Sodio (ppm)	8	9	+ 12,5
Níquel (ppm)	19	20	+ 5,3
Azufre (%)	0,92	1,93	+ 109,8
Carbón Conradson (%)	8,9	10,2	+ 14,6
Asfaltenos (%)	1,9	4,7	+ 147,4
Agua por destilación (%)	< 0,05	0,12	+ 150

Con respecto a los valores del Poder Calorífico del fuelóleo N° 1 BIA, cabe decir que son bajos en relación a los valores que disponemos de otras plantas para los años 1995, 1996 y 1997.

Estos datos sitúan el P.C.I. (Poder Calorífico Inferior) en el rango 9.850-9.950 Kcal/Kg, es decir, un 1,3 % mayores en media. No obstante, se considera el valor de la tabla para 1996 a efectos de cálculos para ese año, no considerando ningún valor para 1995 por la falta de datos y la discrepancia encontrada.

En relación a la mayor cantidad de impurezas contenidas en el fuelóleo utilizado en la prueba con respecto al utilizado anteriormente, cabría decir que el incremento de problemas teóricamente esperado, estaría centrado en los siguientes puntos:

a) Mayor contenido en Vanadio, Sodio y Níquel: más corrosiones en la cámara de combustión y circuito de gases de escape del motor, particularmente válvulas de admisión, corona del pistón, segmentos y válvulas de escape.

b) Mayor contenido en Azufre: más corrosiones en la cámara de combustión y circuito de gases de escape del motor, particularmente válvulas de admisión, corona del pistón, segmentos, válvulas de escape y en la zona fría de gases de escape, desde calderas a punto de emisión final. También son de esperar mayores incrustaciones de sulfatos, tanto en la zona caliente como fría, especialmente en válvulas de escape, colectores de gases de escape, anillos de toberas, álabes de turbocompresores y tubos de calderas.

c) Mayor contenido en Carbones y Asfaltenos: mayor formación de lodos en los tanques de combustible; mayor formación de lodos en las depuradoras de combustible; más dificultad de limpieza de las depuradoras de combustible; incremento de posibilidades de agarrotamiento de las bombas de combustible; mayor acumulación de suciedad en el circuito del combustible; incremento de residuos carbonosos en válvulas de escape, colectores de gases de escape, anillos de toberas y álabes de turbocompresores.

d) Mayor contenido en Agua: mayor facilidad para formación de lodos en tanques; más posibilidades de agarrotamiento de inyectores en caso de fallo de la depuradora de combustible.

Con todas estas posibilidades de empeoramiento de los parámetros de operación, debido al cambio de tipo de fuelóleo, se ha llevado a cabo el ensayo de aditivación.

4 - RESULTADOS COMPARATIVOS OBTENIDOS

4 - 1 CONSUMO DE ENERGIA

	Período <u>Ag-Di/95</u>	Período <u>Ag-Di/96</u>	Período <u>Ag-Di/97</u>
Tipo fuelóleo	Nº 1 BIA	Nº 1 BIA	Nº 1
P.C.I. (Kcal/Kg)	Indeterminado	9.773	9.631
TM. fuelóleo consumidas	9.224,227	9.462,458	9.631,000
Kwh E producidos	42.402.731	42.452.930	43.258.820
Consumo esp. energía :			
-en Kgr. Fuel/MWhe	217,54	222,89	222,64
-en Kcal/Kwh	Indeterminado	2178,3	2144,24
Precio (€/Tm) fueloil Nº 1 BIA		144,24	
Precio (€/Tm) fueloil Nº 1			132,22

(Cálculo Consumo energía en Kcal/Kwh : Gr. Fuel/Kwh x P.C.I. / 1000)

DIFERENCIAS DE CONSUMO DETECTADAS :

Período 1997 respecto 1996 : - 34,06 Kcal/Kwh , es decir , - **1,56 %**

Período 1997 respecto 1995 : indeterminado (si se tomara un P.C.I. de 9900 que es el valor medio detectado en otras plantas , la diferencia sería de - 9,4 Kcal/Kwh , equivalente a - **0,44 %**).

En costo, la diferencia entre los períodos estudiados para 1996 y 1997, sería:

* 1996, Fuelóleo Nº 1 BIA: 222,89 Kgr x 0,144240 €/Kgr = 32,1497 €/MWhe producido

* 1997, Fuelóleo Nº 1 : 222,64 x 0,132220 € Kgr = 29,4375 €/MWhe producido

*** Se obtiene un ahorro de (32,1497-29,4375) 2,7122 €/MWhe producido, equivalente a un 8,44%, por menor consumo de energía y tener la posibilidad de consumir un combustible más barato manteniendo la misma operatividad de los motores.**

4 - 2 FACTOR DE SERVICIO

	Período <u>Ag-Di/95</u>	Período <u>Ag-Di/96</u>	Período <u>Ag-Di/97</u>
<u>Motor N° 1 :</u>			
Horas paro totales	126	128	123
Horas paro ajenos	87	59	81
Horas paro imputables	39	69	42
Factor de Servicio total	95,57 %	96,51 %	96,65 %
Factor de Servicio imp.	98,94 %	98,12 %	98,86 %

Motor N° 2 :

Horas paro totales	116	108	173
Horas paro ajenos	66	58	118
Horas paro imputables	50	50	55
Factor de Servicio total	96,84 %	97,06 %	95,29 %
Factor de Servicio imp.	98,64 %	98,64 %	98,50 %

Media Motores N° 1 y 2 :

Horas paro totales	242	236	296
Horas paro ajenos	153	117	199
Horas paro imputables	89	119	97
Factor de Servicio total	96,70 %	96,79 %	95,97 %
Factor de Servicio imp.	98,79 %	98,38 %	98,68 %

* Se observa que el Factor de Servicio obtenido durante el período del ensayo considerando horas de paro imputables, es decir, descontando las horas de paro por motivos ajenos (ver lista en página siguiente), es idéntico, en ambos motores, al obtenido en el mismo período de años anteriores, a pesar del cambio de combustible.

Para que los resultados fueran homogéneos y comparativos, se han considerado como “Paros ajenos” aquellos producidos como consecuencia de :

- Revisión general de motores
- Exceso de producción u horas valle
- Cortes Compañía Eléctrica relevantes
- Reparación puntual árbol de levas en 1997
- Tormentas en 1997

En consecuencia, los paros “imputables” , usados para el cálculo del Factor de Servicio , son la diferencia entre las horas de paro totales y las consideradas como ajenas .

En todos los casos, el Factor de Servicio ha sido calculado según la siguiente fórmula:

$$\text{Factor Servicio (\%)} = \frac{(\text{Horas totales del período} - \text{Horas de paro}) \times 100}{\text{Horas totales del período}}$$

4 - 3 CORROSION DE VALVULAS DE ESCAPE

Los datos comparados son los disponibles actualmente, que corresponden a los registrados para el Motor N° 2 en las revisiones generales efectuadas antes de comenzar el ensayo y al terminar el mismo.

Revisión inicial : efectuada el 14-7-97 , a las 21.083 horas de marcha total
Revisión final : efectuada el 19-1-98 , a las 25.324 horas de marcha total
T.B.O. de la prueba : 4.241 horas

La comparación entre las dos revisiones se realiza analizando para cada válvula de escape los siguientes parámetros :

- Peso de residuos adheridos en los husillos
- Nivel de corrosión en los husillos, que engloba los conceptos :
 - Picaduras de corrosión
 - Inicio de corrosión
 - Corrosión
- Nivel de soplados en los husillos, que engloba los conceptos :
 - Inicio de soplado
 - Soplado total
- Nivel de corrosión en las canastillas, que engloba los conceptos :
 - Picaduras de corrosión
 - Inicio de corrosión
 - Corrosión
- Nivel de soplados en las canastillas, que engloba los conceptos :
 - Inicio de soplado
 - Soplado total

A) PESO DE RESIDUOS ADHERIDOS

(Se adjuntan hojas de resultados por válvula)

* En la revisión Inicial (1997) : 4,57 gr por válvula , de media

* En la revisión Final (1998) : 2,85 gr por válvula , de media

*** Resultado : disminución de residuos en un 37,6 % a pesar de utilizar un fuelóleo de menor calidad.**

B) CONSERVACION DE VALVULAS DE ESCAPE

C = Corrosión

S = Soplado

HU = Husillo de la válvula

CAN = Canastilla de la válvula

<u>Valvula</u>	<u>Revisión Inicial</u>	<u>Revisión Final</u>
A 1 A	C en HU y CAN	C en HU
A 1 B	C en HU y CAN	sin corrosión
A 2 A	C en HU y CAN	sin corrosión
A 2 B	C en HU	sin corrosión
A 3 A	C en HU y CAN	sin corrosión
A 3 B	C en HU y CAN	sin corrosión
A 4 A	C en HU	sin corrosión
A 4 B	C en CAN , S en HU	sin corrosión
A 5 A	C en CAN , S en HU	sin corrosión
A 5 B	S en HU	C en HU
A 6 A	C en HU	C en HU
A 6 B	C en HU	S en HU
A 7 A	C en HU	sin corrosión
A 7 B	C en HU y CAN	S en HU
A 8 A	C en HU	C en HU
A 8 B	C en HU y CAN	S en HU
A 9 A	sin corrosión	sin corrosión
A 9 B	C en HU	sin corrosión
B 1 A	C en HU y CAN	sin corrosión
B 1 B	C en HU y CAN	sin corrosión
B 2 A	C en HU	C en HU
B 2 B	C en HU	sin corrosión
B 3 A	C en HU y CAN	sin corrosión
B 3 B	C en HU y CAN	sin corrosión
B 4 A	S en HU	sin corrosión
B 4 B	C en HU	S en HU
B 5 A	C en HU	sin corrosión
B 5 B	C en HU	C en HU
B 6 A	C en HU	sin corrosión
B 6 B	C en HU	C en HU
B 7 A	C en HU	sin corrosión
B 7 B	C en HU y CAN	sin corrosión
B 8 A	C en HU y CAN	S en HU
B 8 B	C en HU	C en HU
B 9 A	C en HU	sin corrosión
B 9 B	C en HU	sin corrosión

	(A) <u>Revisión Inicial</u>	(B) <u>Revisión Final</u>	(B) - (A) <u>Diferencia %</u>
Nº Husillos con corrosiones	31	8	- 74
Nº Canastilla con corrosiones	15	0	- 100
Nº Husillos con soplados	4	5	+ 25
Nº Canastillas con soplados	0	0	0
Nº total de anomalías en Husillos	35	13	- 63
Nº total de anomalías en Canastillas	15	0	- 100

*** Resultado : Disminución del deterioro de válvulas de escape del motor (Husillos y Canastillas) en un 63% y 100% , respectivamente, a pesar del cambio de combustible , que contiene casi el doble de impurezas potencialmente corrosivas que el anteriormente utilizado .**

Nota :

En la revisión final se han detectado compactaciones en los asientos de las válvulas que pueden ser debidas al aumento de sólidos residuales de la combustión (sulfatos) por la mayor cantidad de Azufre que contiene el fuelóleo.

4 - 4 OTROS RESULTADOS NO COMPARATIVOS

4-4-1 Funcionamiento Depuradoras de fuelóleo

Si bien no se ha podido disponer de datos de funcionamiento cuantificables anteriores o durante el ensayo, la opinión que nos ha comunicado el personal de la planta es que, con el uso del aditivo se observa:

- Mayor decantación del agua del fuelóleo
- Menor cantidad de lodos de fuelóleo generados
- Depuradoras de combustible más limpias y mayor facilidad de limpieza de las mismas
- Los lodos obtenidos son más fluidos y manejables

4-4-2 Evolución de la Tª de trabajo de los motores a carga constante

Desde el inicio del ensayo, las temperaturas de trabajo de ambos motores, tomadas a carga constante y temperatura ambiente casi constante, prácticamente no han variado, lo que significa que no se produce taponamiento del circuito de gases de escape, colectores principalmente, a pesar del aumento de impurezas del fuelóleo. No se dispone de datos comparativos de períodos anteriores.

4-4-3 Consumo de aceite motor (Gr. Aceite / Kwh)

	<u>Período</u> <u>Ag-Di/95</u>	<u>Período</u> <u>Ag-Di/96</u>	<u>Período</u> <u>Ag-Di/97</u>
Motor N° 1+2	0,59	0,52	0,82

El aumento de consumo de aceite no se tiene en consideración porque según información de la empresa, ha sido debido a cambio del tipo de aceite en un motor, renovación de 50 l. diarios no necesaria en el otro motor, y a una pérdida de aceite en una depuradora.

5 - VALORACION ECONOMICA DE LOS RESULTADOS ENTRE DOS PERIODOS DE 5 MESES.

La valoración económica se realiza solamente a partir del consumo de combustible y aditivo en 1996 y 1997, por las razones siguientes:

- a) No se dispone de datos de Potencia Calorífica del fuelóleo N° 1 BIA consumido en el año 1995, tal como se ha comentado anteriormente.
- b) El factor de servicio obtenido en el período del ensayo, es prácticamente el mismo que el obtenido en el mismo período de los dos años anteriores.
- c) No se dispone de datos comparativos de otros parámetros que pueden tener influencia en el costo, como son la generación y eliminación de lodos, costos de limpieza de depuradoras de combustible, costos de válvulas y otras piezas de los motores, etc.

Considerando solamente el ahorro energético en Kcal. del 1,56 % detectado (ver 4.1) , es decir, sin tener en cuenta el ahorro debido al cambio de combustible, el balance económico de la aditivación, para la misma producción actual de 100.000 MWhe al año sería :

- Potencia Calorífica media del fuelóleo = 9.631 Kcal / Kg ó 9.631.000 Kcal / Tm

- Consumo anual de fuelóleo BIA N° 1 sin aditivar (Ag-Dic.1996):

$$\frac{100.000.000 \text{ KWhe} \times 2.178,30 \text{ Kcal/Kwhe}}{9.631.000 \text{ Tm fueloil consumidas}} = 22.617,59 \text{ Tm}$$

- Consumo anual de fuelóleo N°1 aditivándolo (Ag-Dic.1997):

$$\frac{100.000.000 \text{ KWhe} \times 2.144,24 \text{ Kcal/Kwhe}}{9.631.000 \text{ Tm fueloil consumidas}} = 22.263,94 \text{ Tm}$$

- **Ahorro de fuelóleo con aditivo "rb bertomeu" beco F1/ASF:**

$$22.617,59 - 22.263,94 = 353,65 \text{ Tm / año (equivalente al 1,56 \%)}$$

6 - RESUMEN A ENERO DE 1998

Considerando las dificultades que siempre existen a la hora de poder establecer conclusiones después de realizar ensayos, sobre todo en este caso en que no se dispone de una serie de datos comparativos (ya comentados anteriormente) y en que el ensayo se ha realizado coincidiendo con un cambio de combustible (pasando a consumir un tipo de fueloil que provoca muchos más problemas que el utilizado anteriormente), pensamos que, a la vista de los resultados, las principales conclusiones finales son las siguientes :

- A) La utilización del aditivo “rb bertomeu” beco F1/ASF, ha posibilitado el cambio de fuelóleo N° 1 BIA a fuelóleo N° 1 sin que aparezcan dificultades operativas en los motores ni se reduzca el factor de servicio.**
- B) En conjunto, el ahorro en costo de combustible debido a un menor consumo energético y a un menor precio del mismo, ha sido del 8,43 %.**
- C) Aunque se ha mejorado en conservación de válvulas de escape, los resultados obtenidos no son homogéneos por cuanto:
 - La calidad del fuelóleo ha sido mucho peor durante el ensayo
 - Algunas de las válvulas (husillos) del motor N° 2 se instalaron para la prueba en Nymonic en vez de Estelite, como se habían usado antes.**
- D) Otros ahorros derivados de lo detallado en el apartado 4-4, se han producido con seguridad, aunque no estamos en condiciones de cuantificarlos (a Enero 1998). En el siguiente apartado, resultados actualizados a noviembre de 2015.**

7 – ACTUALIZACIÓN A ENERO DE 2017

En Enero de 2017, podemos afirmar la consecución de los siguientes ahorros, ampliamente demostrados y certificados:

Incremento del TBO normal de mantenimiento de válvulas de escape	+ 50 % mínimo
Incremento de la vida útil normal de válvulas por corrosión	+ 100 % mínimo
Disminución de sopladors de válvula en operación normal	80 % media
Incremento del TBO normal de limpieza de turbos	+ 50 % mínimo
Incremento de la vida útil normal de turbos por corrosión	+ 100 % mínimo
Disminución de consumo de combustible por kWhe debido a mejor combustión	1,56 % media
Disminución consumo combustible por kWhe, debido a reducción desgaste equipo inyección	0,9 % media
Disminución de consumo de combustible por kWhe debido al aprovechamiento de lodos	0,45 % media
Disminución consumo de combustible por menor acumulación de residuos en turbocompresores	0,19 % media
Disminución de lodos de fueloil a tratar o gestionar	70 % media
Reducción de lodos de fueloil	54,8 %
Reducción de lodos de aceite lubricante	26,8 %
Reducción Kg/Tm de fueloil consumido por disminución de lodos	5,80 Kgr.
Ahorro por menor volumen de lodos a retirar (coste de retirada de lodos: 110 €/Tm)	0,638 €/Tm de fueloil consumido
Disminución de horas de paro por mantenimientos	30 % mínimo
Incremento del Factor de Servicio como resultado de los menores paros por averías y mantenimiento programados	A calcular para cada motor o planta

Después de valorar la incidencia de todos los puntos anteriores, debe expresarse el Ahorro conseguido en Euros/MWhe producido, de forma que pueda calcularse el **Beneficio obtenido establecido en 2,19 Euros/MWhe producido** (los cálculos han sido realizados con un consumo medio de fueloil de 210 Kg/MWhe y un precio del fueloil de 364 €/Tm a Enero/2017)

BENEFICIO = AHORROS - COSTE DEL ADITIVO “rb bertomeu” beco F1/ASF
BENEFICIO MINIMO = 2,19 Euro/MWhe

Encontrará más información sobre los datos expuestos en el documento [“RB1 - Estudio económico de rentabilidad del uso del aditivo “rb bertomeu” beco F1/ASF en grandes motores alimentados con fueloil pesado en plantas de cogeneración eléctrica”](#).