

Reciclado de aceites residuales siderúrgicos por inyección en toberas del horno alto

A. Cores^(*), A. Formoso^(*), J.L. Verduras^(**) y S. Ferreira^(*)

Resumen En una cámara de combustión que simula las condiciones de la zona de toberas del horno alto, se estudia la combustión de un aceite residual (tinol), previamente utilizado como lubricante en laminación, y mezclas de tinol con otros aceites residuales. Durante la combustión, se registran en continuo las temperaturas y los contenidos de O₂, CO, CO₂, N₂ y H₂ en los gases de la cámara de combustión y se determina la eficacia de la combustión. Se considera efectiva la combustión del aceite residual y el aporte de energía al proceso.

Palabras clave: **Aceites residuales. Reciclado de residuos. Combustión de residuos. Horno alto.**

Recycling of siderurgical oily wastes by blast furnace tuyeres injection

Abstract In a combustion chamber which simulates the conditions of the blast furnace tuyeres zone, the combustion of tinnol and mixtures of tinnol with other waste oils, is studied. During combustion the temperatures and the O₂, CO, CO₂, N₂ and H₂ contents of the gases are constantly recorded and the efficiency of combustion is determined. The waste oil combustion and its energy contribution to the process are considered to be effective.

Keywords: **Waste oils. Waste recycling. Waste combustion. Blast furnace.**

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por dar a los residuos peligrosos de origen industrial un destino adecuado, para la preservación de la salud humana y del medio ambiente, es relativamente reciente en los países industrializados. El acusado aumento de la contaminación en los medios receptores y la resonancia mundial de algunos sucesos ampliamente difundidos han favorecido la concienciación ciudadana sobre este problema.

La Unión Europea, a través de cuatro programas de acción medioambientales elaborados entre 1973 y 1992, ha dictado normas para evitar que el medio ambiente se dañe por la eliminación incontrolada de aceites usados, y también para garantizar tanto la eliminación sin riesgos como el reciclado de los residuos.

Las plantas siderúrgicas, y principalmente sus trenes de laminación, producen gran cantidad de

aceites residuales que deben eliminarse por incineración o por otros medios puesto que su vertido está prohibido (1).

El objetivo de este trabajo es la utilización y al mismo tiempo la eliminación limpia del tinol (un aceite residual que se utiliza en siderurgia, muy difícil de manipular, almacenar y destruir) mediante su combustión en una cámara de combustión, instalada en el CENIM, que simula las condiciones que existen en la zona de toberas-*raceway* de un alto horno. Se consigue un beneficio adicional de ahorro de combustible que se manifiesta por una tasa de sustitución de kg de coque/kg de aceite residual (2).

2. TINOL Y OTROS ACEITES RESIDUALES

El tinol es un aceite animal que se presenta en estado pastoso y tiene una densidad de 0,888 g/cm³. El termoanálisis del tinol, realizado con un equipo SHIMADZU DTA-50 en las condiciones experimentales de atmósfera de aire, velocidad de flujo 20 mL/min y velocidad de calentamiento 10 °C/min, permite determinar los parámetros que muestra la tabla I.

(*) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM (CSIC), Avda. de Gregorio del Amo, 8. 28040-Madrid (España).

(**) Aceralia Corporación Siderúrgica, Gijón (España).

TABLA I.— Parámetros del tinol determinados por termoanálisis

TABLE I.— *Tinnol parameters fixed by thermoanalysis*

Temperatura de fusión, °C	48
Temperatura de inflamación, °C	218
Temperatura de combustión, °C	248
Poder calorífico, kJ/kg	34.140

La composición química del tinol se ofrece en la tabla II. Los sedimentos totales corresponden a los carbonosos más los inorgánicos (cenizas); de los valores de la tabla II se deducen los sedimentos carbonosos u orgánicos, que son 35,76 - 33,37 = 2,39.

El tinol se utiliza como lubricante de la chapa laminada en el tren tándem y, una vez utilizado, es un residuo que es necesario eliminar. Aceralia Corporación Siderúrgica produce 1000 t/año de tinol residual y la misma cantidad de otros aceites minerales que se utilizan en circuitos hidráulicos de transmisión, en cárteres de motores de laminación y en aplicaciones similares.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La combustión del tinol y de la mezcla de tinol con otros aceites residuales se llevó a cabo en la planta piloto del CENIM, utilizada para realizar ensayos de combustión de carbón pulverizado (3-6). Se ha preparado un sistema para inyectar el aceite residual en la tobera de la cámara de combustión, que se describe en el apartado 3.2.

TABLA II.— Composición química de los aceites residuales, % en masa

TABLE II.— *Chemical composition of waste oils, % in mass*

Elementos	Tinol nuevo	50% tinol, 50% aceite residual	25% tinol, 75% aceite residual	Tinol depurado
C	77,67	83,91	84,92	75,23
H	21,93	13,90	13,30	23,91
Humedad	1,02	2,00	8,22	3,49
Materia orgánica	63,25	50,18	37,98	54,21
Sedimentos totales	35,76	47,52	53,10	39,22
Ceniza	33,37	39,40	42,56	35,83
Cl ⁻	0,05	0,06	0,07	0,05
S	0,15	0,19	0,20	0,17
N	0,87	0,71	1,04	0,94

3.1. Descripción de la planta piloto

La planta piloto dispone de una cámara de combustión que simula las condiciones del *raceway* del horno alto en la mayor extensión posible. En la figura 1 se muestra un esquema de operación de la planta piloto. La circulación de los gases se consigue mediante aspiración. El calentamiento del aire se realiza con aire primario en un quemador atmosférico. La combustión y la mezcla con aire aspirado se hace en un conducto vertical de material refractario. A continuación, se añade oxígeno hasta alcanzar el porcentaje deseado.

Las temperaturas se registran de forma continua en cuatro termopares. El primero mide la temperatura del aire antes de la incorporación del aceite residual, otros dos están en la cámara de combustión y el último, en el conducto revestido posterior. Se utiliza un equipo de espectrometría de masas Perkin Elmer, modelo MGA-1200, para la determinación de CO₂, O₂, CO, N₂ y H₂, provisto de un registrador continuo y de un equipo informático de toma y tratamiento de datos.

3.2. Instalación de precalentamiento e inyección de aceites residuales

La instalación, que se muestra en la figura 2, consta de un recipiente de precalentamiento de acero inoxidable de 350 L de capacidad, que en su parte inferior contiene un calentador eléctrico regulable hasta una potencia máxima de 12 kW. El recipiente dispone de un termopar acoplado a un registrador para control de la temperatura del baño de aceite residual. Asimismo, dispone de un filtro por el que se hace pasar todo el aceite residual retornado a la instalación y una bomba centrífuga de varios pasos que comunica al aceite residual presiones superiores a 10 kg/cm².

Las boquillas pulverizadoras empleadas son de una marca comercial, especiales para pulverizar el aceite. Se han empleado dos tipos de boquilla,

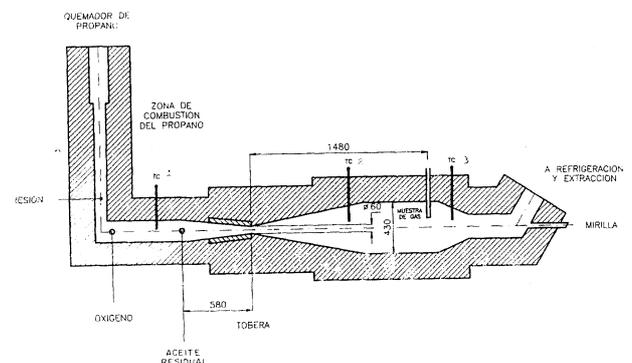


FIG. 1.— Cámara de combustión.

FIG. 1.— *Combustion chamber.*

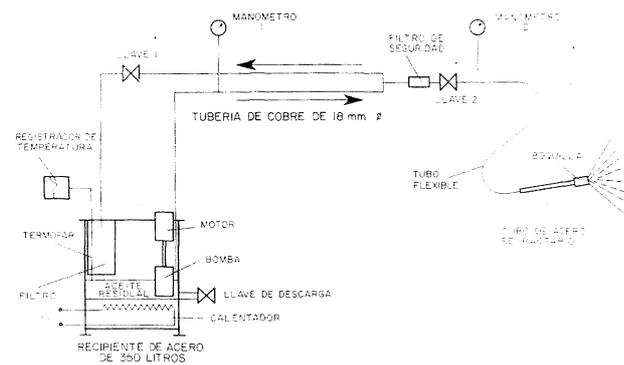


FIG. 2.— Pre calentamiento e inyección de aceite residual.

FIG. 2.— Waste oil preheating and injection.

construidas con acero inoxidable AISI 316 para trabajar entre 2 y 5 bares, con caudales de 0,166 a 0,390 L/min. Los diámetros de los taladros de las boquillas por donde sale pulverizado el aceite son de 0,7 y 0,9 mm.

El modo operativo para todos los ensayos es como sigue. Se cargan 50-60 kg de aceite residual en el recipiente de pre calentamiento. Se calienta a unos 65-90 °C. A continuación, se pone en marcha la bomba para hacer circular el aceite residual por la rama de retorno, con objeto de efectuar el filtrado del mismo, durante unos 20 min.

Finalizada esta tarea, se abre la llave 2 con lo que el aceite fluye hacia la boquilla pulverizadora; con la llave 1, se consigue variar la presión del aceite residual en la boquilla, la presión se aumenta paulatinamente hasta que en la boquilla se consiga una pulverización perfecta, lo que se pone de manifiesto por la presencia de un chorro de numerosas microgotas de aceite residual.

A continuación, se introduce la boquilla en la tobera y se inyecta el aceite residual durante 30 min en la cámara de combustión para realizar el ensayo.

Durante cada ensayo se determinan las temperaturas de los gases a la entrada y a la salida de la cámara de combustión, así como su composición, datos que, con el caudal y los contenidos de carbono e hidrógeno del aceite residual, permiten determinar cómo se comporta cada aceite residual en la combustión.

4. RESULTADOS

En las tablas III a VI se recogen los resultados de los ensayos de combustión de aceites residuales. En estos ensayos hubo una buena pulverización del aceite en la boquilla. En cada ensayo se realiza el registro gráfico de temperaturas. En las tablas figuran una serie de condiciones de ensayo que corresponden a las etapas sucesivas del ensayo, que se explican a continuación.

Gases de combustión del propano. En la cámara de combustión, el viento se calienta a 1.150-1.300 °C por combustión del propano. La velocidad del viento es de 220 m/s. Como resultado de la combustión, el contenido de oxígeno en el viento disminuye a un 9-12 %. La combustión es completa, como lo demuestra un contenido de CO del 0 % en los gases de combustión analizados.

Gases después de añadir oxígeno. En la etapa siguiente, para simular las condiciones reales en las toberas del horno alto, además de una velocidad del viento de 220 m/s, es necesario que el viento tenga un 21 % O₂. Para ello, se añade oxígeno a los gases de combustión de propano. Cuando el contenido de oxígeno supera el 19 %, se dan por válidas las condiciones para realizar el ensayo. Como resultado de la inyección de un caudal grande de oxígeno a la cámara de combustión, la temperatura del viento (termopar TC-1) desciende en unos 75-110 °C, como se puede observar en las tablas.

TABLA III.— Combustión de tinol nuevo

TABLE III.— Combustion of new tinnol

	T, °C	TC	Composición, %				
			CO ₂	O ₂	CO	N ₂	H ₂
Flujo de AR: 20 kg/h							
• Gases de combustión del propano	1.200	1	6,9	10,6	0,0	81,0	0,0
• Gases después de añadir O ₂	1.124	1	6,1	19,3	0,0	73,2	0,0
• Combustión de AR con comburente de aprox. 21 % O ₂	1.306	2	10,8	12,8	0,0	74,9	0,0
• Combustión de AR con comburente pobre en O ₂	1.404	2	12,7	3,0	0,1	82,8	0,0

AR: Aceite Residual

TABLA IV.– Combustión de una mezcla al 50% de tinol depurado y otros aceites residuales

TABLE IV.– Combustion of 50% mix of depurated tinnol and other waste oil

	T, °C	TC	Composición, %				
			CO ₂	O ₂	CO	N ₂	H ₂
Flujo de AR: 20,1 kg/h							
• Gases de combustión del propano	1.222	1	7,3	9,7	0,0	82,1	0,0
• Gases después de añadir O ₂	1.123	1	6,2	19,5	0,0	74,1	0,0
• Combustión de AR con comburente de aprox. 21 % O ₂	1.386	2	12,6	11,7	0,0	75,5	0,0
• Combustión de AR con comburente pobre en O ₂	1.442	2	12,3	1,2	2,2	82,4	1,1

AR: Aceite Residual

TABLA V.– Combustión de una mezcla al 25% de tinol depurado y 75% de otros aceites residuales

TABLE V.– Combustion of mix of 25% depurated tinnol and 75% other waste oil

	T, °C	TC	Composición, %				
			CO ₂	O ₂	CO	N ₂	H ₂
Flujo de AR: 17,5 kg/h							
• Gases de combustión del propano	1.298	1	7,6	9,3	0,0	82,2	0,0
• Gases después de añadir O ₂	1.187	1	6,5	19,4	0,0	73,3	0,0
• Combustión de AR con comburente de aprox. 21 % O ₂	1.425	2	12,3	11,5	0,0	75,4	0,0
• Combustión de AR con comburente pobre en O ₂	1.494	2	12,2	1,3	2,4	82,0	1,1

AR: Aceite Residual

TABLA VI.– Combustión de tinol depurado

TABLE VI.– Combustion of depurated tinnol

	T, °C	TC	Composición, %				
			CO ₂	O ₂	CO	N ₂	H ₂
Flujo de AR: 11,1 kg/h							
• Gases de combustión del propano	1.145	1	6,5	11,0	0,0	81,7	0,0
• Gases después de añadir O ₂	1.065	1	5,8	21,4	0,0	74,3	0,0
• Combustión de AR con comburente de aprox. 21 % O ₂	1.206	2	8,9	14,8	0,0	75,4	0,0
• Combustión de AR con comburente pobre en O ₂	1.296	2	10,0	6,5	0,0	82,5	0,0

AR: Aceite Residual

Combustión de aceite residual con comburente de aproximadamente 21% O₂. Una vez conseguido el viento caliente con un 21 % de O₂ (aproximadamente) y la cámara de combustión estabilizada, se inicia la inyección de aceite residual en las condiciones que se indican en las tablas. Como

resultado de la combustión del aceite residual, la temperatura se eleva de manera continua, y el contenido de oxígeno disminuye a un 11,5-14,8 %, según las condiciones. En esta etapa, y la siguiente, la temperatura de los gases de combustión se registran en el termopar TC-2. La

combustión del aceite residual es completa en todos los ensayos (0 % CO). Esta etapa dura 15 min.

Combustión de aceite residual con comburente pobre en O₂. En esta etapa final, se suprime el suministro de oxígeno a la cámara de combustión. El aceite residual se sigue inyectando durante 15 min más y se da por terminado el ensayo. Como resultado de la no inyección de oxígeno, el porcentaje de O₂ disminuye a niveles muy bajos (1,2-6,5 %, según el ensayo) y debido a la escasez de oxígeno se aprecian, en algunos casos, combustiones incompletas, que se manifiestan por la presencia de CO (hasta un 2,4 %) en los gases de combustión analizados.

4.1. Combustión de tinol nuevo

En la tabla III se ofrecen los resultados de la combustión de este aceite. La suma de los componentes de los gases de la combustión (CO₂, O₂, CO, N₂ y H₂) se aproxima al 99 %.

La temperatura de los gases de combustión, medida en el termopar TC-2, aumenta a lo largo de todo el ensayo. En la tabla se da, como referencia, la temperatura que se registra 10 min después de haber inyectado el aceite (1.306 °C) y 10 min después de haber cortado el suministro de oxígeno a la cámara de combustión (1.404 °C). Estas temperaturas van en aumento y son mayores a las registradas en la cámara de combustión antes de la inyección de aceite, como era de esperar.

4.2. Combustión de la mezcla 50 % tinol - 50 % aceite residual

En la tabla IV se ofrecen los resultados. Se aprecia una combustión incompleta (2,2 % CO, 1,1% H₂) durante la etapa de combustión de la mezcla con escasez de oxígeno.

4.3. Combustión de la mezcla con 25% tinol - 75 % aceite residual

En la tabla V se ofrecen los resultados. El comportamiento es similar al de los aceites residuales anteriores.

4.4. Combustión de tinol depurado

En la tabla VI se ofrece el resultado. Se realiza

el ensayo con un caudal bajo de aceite residual, y la combustión es completa.

5. CONCLUSIONES

En una cámara de combustión se estudió la combustión del tinol y de mezclas de tinol con otros aceites residuales. Los resultados obtenidos permiten establecer las siguientes conclusiones:

Las condiciones de fluidez de los aceites residuales son buenas en la instalación de precalentamiento e inyección, previa a la cámara de combustión. Los aceites pulverizan bien en las boquillas utilizadas.

Los aceites residuales experimentan una combustión completa cuando fluyen con caudales bajos a la cámara de combustión. A caudales mayores, y con escasez de oxígeno, en algunos aceites, la combustión no es completa, puesta de manifiesto por la presencia de CO en los gases de combustión.

Se estima que la tasa de ahorro en el consumo de coque en el horno alto con los aceites residuales utilizados, de humedad inferior al 8,5 %, es de 0,7 a 1,0 kg de coque/kg de aceite.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Comunidad Europea (ECSC 710-AA/936), Aceralia Corporación Siderúrgica y CEDETI el apoyo económico a este Proyecto (núm. 1368/92).

REFERENCIAS

- (1) MEADOWCROFT, T.R. *Iron Steelmaker*, 20 (12), 1993: 33-37.
- (2) Cockerill Sambre. Recycling of oily wastes at Cockerill Sambre. Comunic. privada, 1993.
- (3) FORMOSO, A., ISIDRO, A., CORES, A. y FERREIRA, S. Further developments in blast furnace injection technology. ECSC, Agreement N°. 7210 AA/936, 1994.
- (4) ISIDRO, A., FORMOSO, A., PIS, J.J., FERREIRA, S., FUENTE, E., RIVAS, J.M., GARCIA, L. y CORES, A. Proc. VIII Int. Conf. on Coal Sci. and Tech., Vol.1, Oviedo (España). Elsevier Science, 1995: 551-554.
- (5) BABICH, A., YAROSHEVSKII, S., GARCIA, L., FORMOSO, A., CORES, A., ISIDRO, A. y FERREIRA, S. *Rev. Metal. Madrid*, 32 (2), 1996: 103-116.
- (6) BABICH, A., YAROSHEVSKII, S., FORMOSO, A., ISIDRO, A., FERREIRA, S., CORES, A. y GARCIA, L. *ISIJ Int.*, 36 (10), 1996: 1250-1258.