

Estudio de la viabilidad de fabricación de un sistema codo (fundición inoxidable ferrítica, GX 260 Cr 27) – tubo composite (Incolloy 800 HT+Stal 2465) solidario por fusión^(•)

S. Gutiérrez de Sáiz-Solabarría^(*) y J.M. San Juan-Núñez^(**)

Resumen Las cenizas volantes captadas por ciclones en la planta experimental de combustión en lecho fluido a presión, de la central térmica de Escatrón (Zaragoza), circulan por el sistema de depuración de gases y son evacuadas mediante transporte neumático. Estas cenizas se encuentran a una temperatura aproximada de 800 °C y a una presión relativa de hasta 8 bares negativos con respecto a la presión en el exterior de la tubería de transporte. Para configurar las líneas de transporte neumático, se utilizan en los tramos rectos tubos composite de calidad Incolloy 800 HT recubiertos interiormente de material Stal 2465. Para los cambios de dirección, se utilizan codos de fundición inoxidable ferrítica de calidad GX 260 Cr 27. El objetivo del presente trabajo es estudiar la viabilidad de fabricación de un sistema solidario por fusión entre el codo de fundición inoxidable ferrítica y la tubería composite.

Palabras clave: Lecho fluido a presión. Cenizas volantes. Tubería composite. Codos de fundición inoxidable ferrítica.

Viability study for the manufacturing of a solidary system elbow (ferritic stainless casting, GX 260 Cr 27)–composite pipe (Incolloy 800 HT + Stal 2465) by melting

Abstract Flying ashes captured by cyclones in the experimental plant for combustion in pressure fluid bed, in Escatrón Power Plant (Zaragoza, Spain), circulate through the gas cleaning system and are evacuated by means of pneumatic transport. The temperature of these ashes is approx. 800 °C and the relative pressure is up to 8 negative bars relating the outdoor pressure of the transport pipe. The configuration of the pneumatic transport lines is Incolloy 800 HT quality composite tubes lined with Stal 2465 in straight stretches. Regarding direction changes, ferritic stainless casting, quality GX 260 Cr 27 elbows are used. The aim of this work is to study the possibility of manufacturing a solidary system by means of melting between the ferritic stainless casting elbow and the composite pipe.

Keywords: Pressure fluid bed. Flying ashes. Composite pipe. Ferritic stainless casting elbows.

1. INTRODUCCIÓN

Las cenizas volantes captadas por ciclones en la planta experimental de combustión en lecho fluido

a presión, de la central térmica de Escatrón (Zaragoza), circulan por el sistema de depuración de gases y son evacuadas mediante transporte neumático. Estas cenizas se encuentran a una temperatura aproximada de 800 °C y a una presión relativa de hasta 8 bares negativos con respecto a la presión en el exterior de la tubería de transporte.

Para configurar las líneas de transporte neumático, se utilizan en los tramos rectos tubos composite de calidad Incolloy 800 HT (Sandvik Sanicro 31HT, UNS NO8811) para el exterior y material duro y resistente a la abrasión de calidad SS2465 (norma SIS) para el interior. Para los cambios de

(•) Trabajo recibido el día 30 de marzo de 1995.
(*) Dpto. Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Universidad del País Vasco. Apto. 644. 48012-Bilbao (España).
Dpto. Laboratorios I+D. Babcock & Wilcox Española. Apto. 294. 48080-Bilbao (España).
(**) Dpto. Física de la Materia Condensada. Facultad de Ciencias. Universidad del País Vasco. Apto. 644. 48080-Bilbao (España).

dirección, se utilizan codos de fundición inoxidable ferrítica de calidad GX 260 Cr 27 (norma DIN 1695), materiales que se consideran adecuados por su buena resistencia a la abrasión de las partículas (cenizas) a alta temperatura

La unión por soldadura de los codos a los tramos rectos plantea numerosos problemas, debido a la nula soldabilidad de los materiales. Las soluciones utilizadas hasta ahora son laboriosas y costosas.

El objetivo del presente trabajo es demostrar la viabilidad de uso de un sistema de unión tubo-codo solidario, mediante inserción de un trozo de tubo en cada uno de los extremos abiertos del codo durante el proceso de fundición. Tanto los tubos como los codos utilizados son de la misma calidad y dimensiones que los de aplicación en la central.

2. MATERIALES

Los materiales utilizados han sido:

- Tubería composite de 64 mm de diámetro exterior y 8 mm de espesor. Los primeros 4 mm de espesor, a partir de la superficie externa, son de una aleación al Cr-Ni-Fe conocida como Sanicro 31HT, de Sandvik, que se corresponde con el Incolloy 800 HT (UNS NO8811), de Case 1987-1, (Secciones I y VIII, División 1 del Código ASME). La composición química de las dos coladas utilizadas se muestra en la tabla I. Los primeros 4 mm de espesor, a partir de la superficie interior, son de un material duro y resistente a la abrasión conocido como APM 9904 (Stal 2465), de Asea. La composición química del recubrimiento se muestra en la tabla II.

Los tubos composite se fabricaron a partir de palanquilla conformada por compactación isostática en caliente (CIC), y constan de un espesor de 4

mm desde la superficie exterior de la aleación Cr-Ni-Fe comentada, y de un recubrimiento interior depositado por atomización, asimismo de 4 mm de espesor, del material APM 9904 (Stal 2465). Después de su conformación por CIC, ambos materiales son extruidos a alta temperatura.

- Codos de fundición inoxidable ferrítica de calidad GX 260 Cr 27, según la norma DIN 1695. Tienen forma de T, con una de las bocas ciega. Las otras dos bocas (perpendiculares entre sí) son de 48 mm de diámetro interno, con morfología cónica y cilíndrica, respectivamente. La longitud entre los extremos cónico-ciego es de 454 mm, y entre el eje cónico-ciego y el extremo de la boca cilíndrica de 270 mm, siendo el peso del codo de 25 kg. La composición química de las diferentes coladas se muestra en la tabla III.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Con objeto de conseguir la óptima unión entre el tubo composite insertado y la pieza (codo) fundida, se realizó una preparación geométrica en la superficie exterior del tubo para asegurar una eficaz incorporación. Esta preparación se llevó a cabo mediante mecanizado (en el material Incolloy 800 HT) ensayándose diferentes geometrías:

- Cuadrada de bordes planos y fondo curvo (Fig. 1a).
- Triangular de filetes roscados (Fig. 1b).
- Cuadrada de aletas finas (Fig. 2).

Se incrementó el espesor de la pieza (codo) en las bridas, a la altura del inserto, para así aumentar la cantidad de metal en esa zona y facilitar la unión inserto-metal (codo) (Figs. 3 y 4).

TABLA I.- Composición de los tubos de Incolloy 800 HT insertados

TABLE I.- Composition of Incolloy 800 HT inserted tubes

Colada	Composición del tubo, % en masa										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti	Al	Cu	Fe
H-1	0,075	0,52	0,60	0,009	0,001	20,7	30,9	0,50	0,38	0,056	Resto
H-2	0,069	0,56	0,57	0,009	0,001	20,8	31,0	0,56	0,49	0,077	Resto

TABLA II.- Composición del recubrimiento interior de los tubos insertados

TABLE II.- Composition of the inner lining of the tubes inserted

Colada	Composición del recubrimiento, % en masa									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N	O	
R-1	2,06	0,54	0,61	0,020	0,017	26,1	0,24	0,110	0,0067	

TABLA III.- Composición de los codos de fundición ferrítica GX 260 Cr 27 (DIN 1695)

TABLE III.- Composition of the ferritic stainless casting GX 260 Cr 27 elbows (DIN 1695)

Colada	Composición de la pieza terminada, % en masa					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
C-1	2,66	1,06	1,42	24,6	0,96	0,87
C-2	2,59	0,96	1,39	25,7	0,94	0,78
C-3	2,58	0,90	1,31	25,4	0,98	0,75
C-4	2,64	1,12	1,16	26,0	0,96	0,08
C-5	2,77	1,01	1,35	24,2	0,96	0,40
C-6	2,60	0,89	1,26	25,1	0,98	0,42
C-7	2,64	0,85	1,11	24,9	0,96	0,35
DIN 1695	2,3	0,5	0,5	24	≤ 1,2	≤ 1.0
	2,9	1,5	1,5	28		

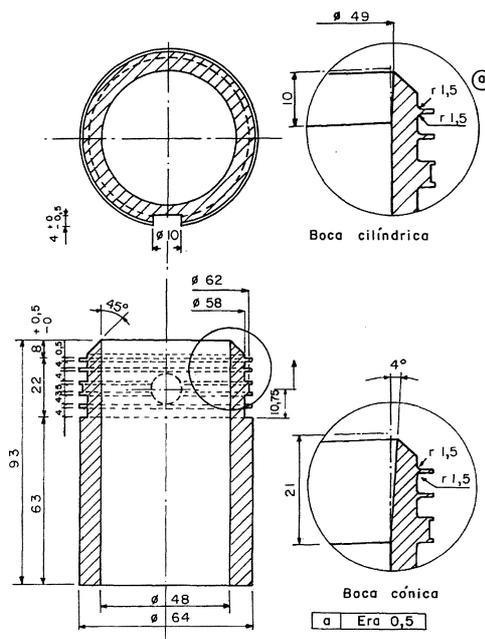


FIG. 2.— Forma geométrica cuadrada de aletas finas.

Fig. 2.— Square geometric shape with thin fins.

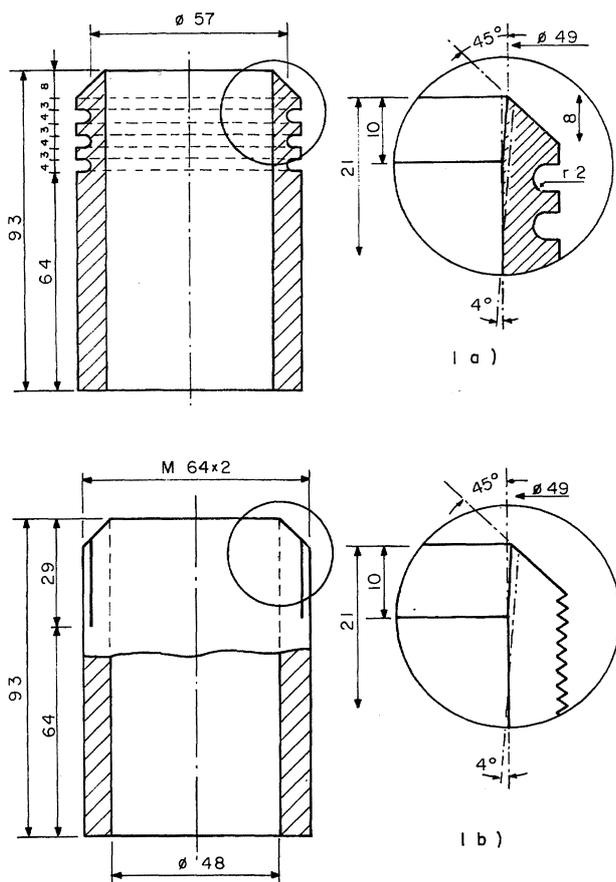


FIG. 1.— Forma geométrica de la preparación: a) Cuadrada de bordes planos y fondo curvo. b) Triangular de filetes roscados.

Fig. 1.— Geometric shape of the preparation: a) Square with flat edges and curves bottom. b) Triangular with threading fillets.

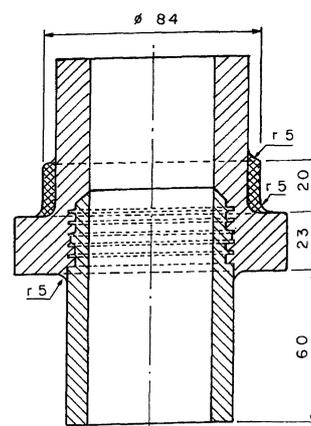


FIG. 3.— Regrueso en boca cilíndrica.

Fig. 3.— Overthickness in cylindrical opening.

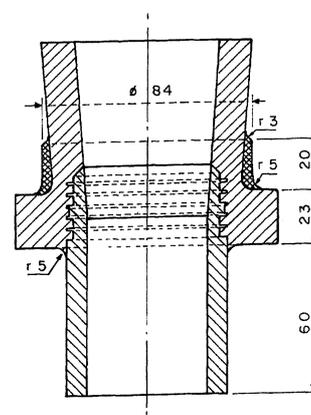


FIG. 4.— Regrueso en boca cónica.

Fig. 4.— Overthickness in conical opening.

Se talonaron las “portadas” de los machos para evitar posibles desplazamientos de los mismos en el interior del molde (Fig. 5). En esta misma figura se muestra en detalle el sistema de llenado y alimentación de la pieza (codo).

Con objeto de proporcionar al macho el apoyo eliminado al cerrar el fondo del codo, se colocaron soportes de machos con aleta intermedia para asegurar la incorporación del soporte al metal (Fig. 6).

Los moldes se fabricaron utilizando el sistema *Pep-Set* de resinas químicas (Figs. 6 y 7). Para los machos se ha empleado el proceso Ashland. Los insertos se colocaron en la caja de machos, quedando fijados al macho tras el soplado del mismo. Los soportes necesarios para el cierre del extremo del codo se posicionaron durante la colocación del macho en el molde. Por último, antes del cierre de los moldes, se colocaron filtros cerámicos en el sis-

tema de alimentación para prevenir el paso de escorias a las piezas.

La fusión del metal se realizó en un horno eléctrico de inducción de media frecuencia (3.000 Hz). La temperatura del metal se controló con un pirómetro de inmersión. La carga del horno se estableció empleando los siguientes materiales : a) Lingote (4 % C-1 % Si), b) Acero (0,1 % C-0,1 % Si-0,4 % Mn), c) FeCr (68 %), d) FeSi (75 %), e) FeMn (75 %), f) FeMo (68 %), g) Ni (99 %) y h) Grafito (90 %). La figura 8 muestra el conjunto completo de pieza (codo) y bebedero.

Se fabricaron quince piezas en siete coladas diferentes, cuyas composiciones se muestran en la tabla III. La temperatura del horno fue de 1.600-1.650 °C y la temperatura de cuchara de 1.500-1.525 °C. Los tiempos de llenado oscilaron entre 9,5 y 12,5 s.

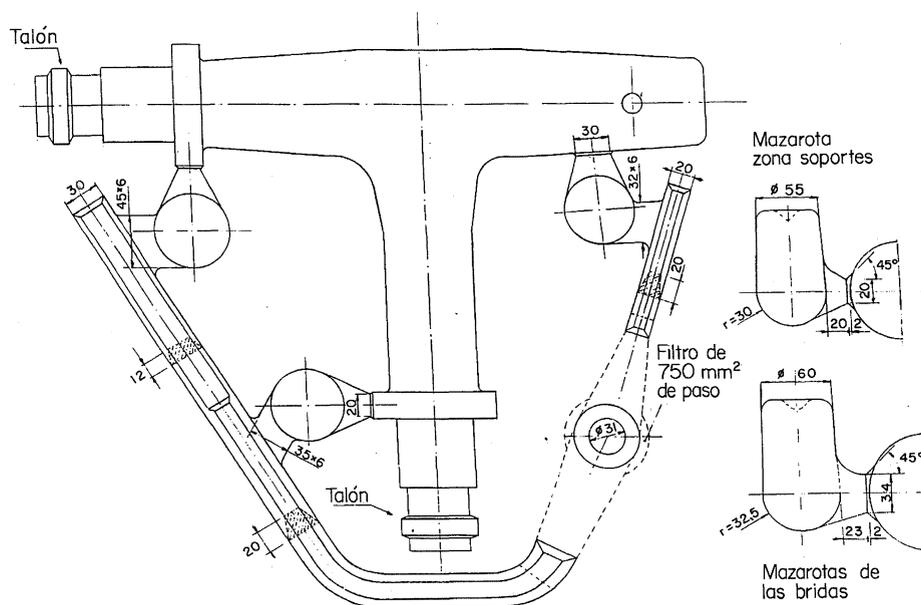


FIG. 5.— Sistema de llenado y alimentación. Talonado de “portadas”.

Fig. 5.— Filling and feeding system.

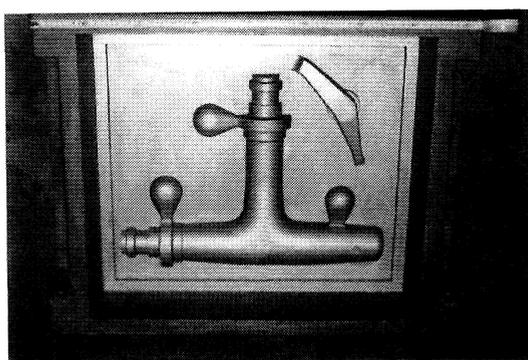


FIG. 6.— Modelo de la pieza. Parte inferior.

Fig. 6.— Piece pattern. Lower part.

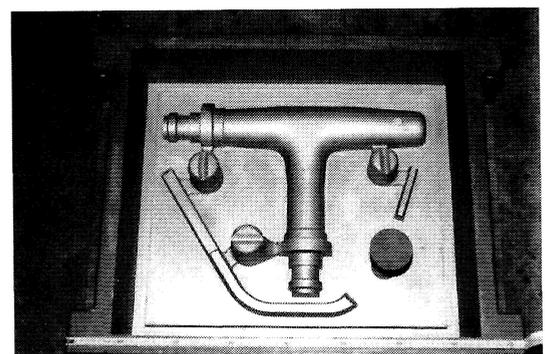


FIG. 7.— Modelo de la pieza. Parte superior.

Fig. 7.— Piece pattern. Upper part.

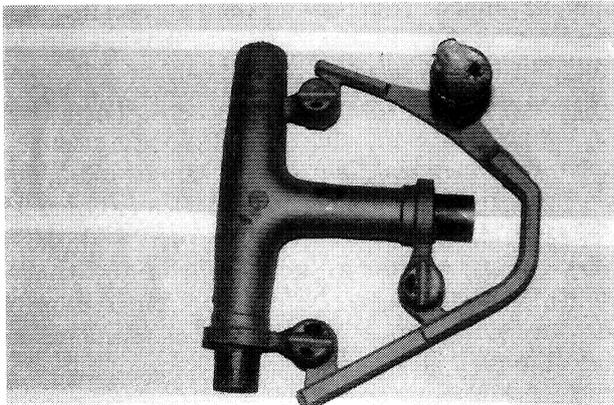


FIG. 8.— Conjunto completo de pieza y bebedero.

Fig. 8.— Complete piece and riser set.

4. RESULTADOS

Como consecuencia del estudio realizado, se obtuvieron los siguientes resultados :

- Independientemente de la preparación geométrica de los canales que se han realizado en los tubos a insertar, la incorporación del metal (GX 260 Cr 27) es buena.
- La incorporación de metal en la boca cónica, aunque buena, es peor que la que presenta la boca cilíndrica. Se observa algún microrrechupe de forma aislada (Fig. 9).
- Los mejores resultados se obtienen cuando la geometría de los canales realizados en la superficie exterior de los tubos insertados es de morfología cuadrada con extremos finos (aleta fina)

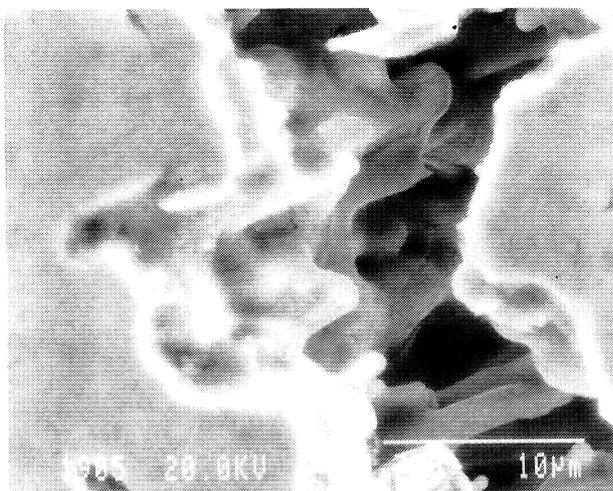


FIG. 9.— Dendritas de solidificación en el interior de un microrrechupe. $\times 3.700$.

Fig. 9.— Dendrites of solidification within a microshrinkage cavity.

y radio de acuerdo (Figs. 10, 11 y 12). En las figuras 13 y 14 se muestra la estructura que presenta el metal, que corresponde a una distribución interdendrítica de carburos eutécticos en una matriz ferrítica, donde se evidencian formaciones de carburos de pequeño tamaño.

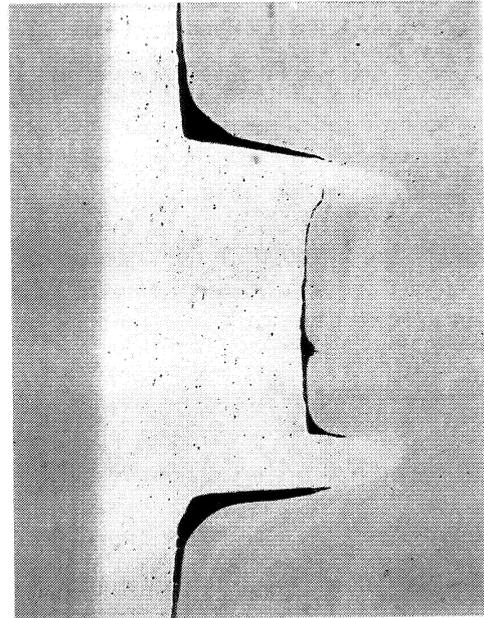


FIG. 10.— Incorporación satisfactoria de la aleta gruesa. $\times 13$.

Fig. 10.— Successful incorporation of thick fin. $\times 13$

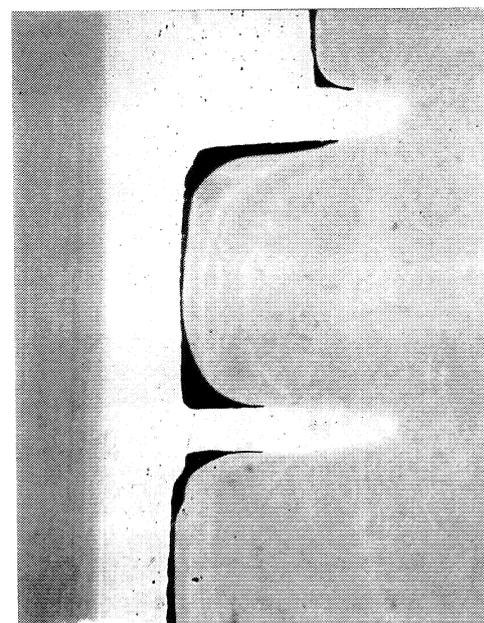


FIG. 11.— Incorporación satisfactoria de la aleta fina. $\times 13$.

Fig. 11.— Successful incorporation of thin fin. $\times 13$

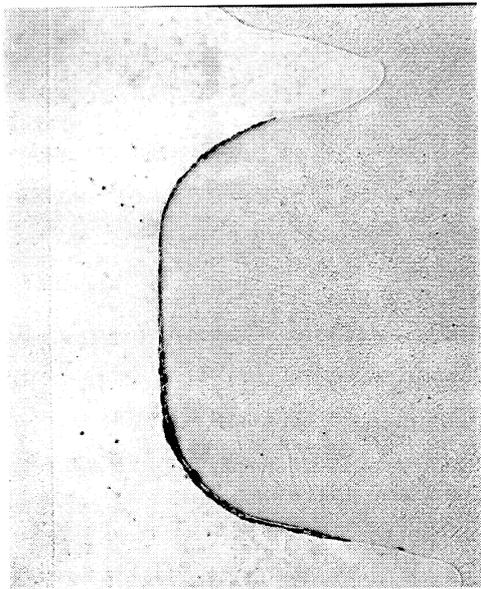


FIG. 12.— Incorporación satisfactoria de las aletas. Detalle del incremento de radio en las aletas. $\times 20$.

Fig. 12.— Successful incorporation of fins. Detail of radius increase in fins. Heat C-1. $\times 20$.

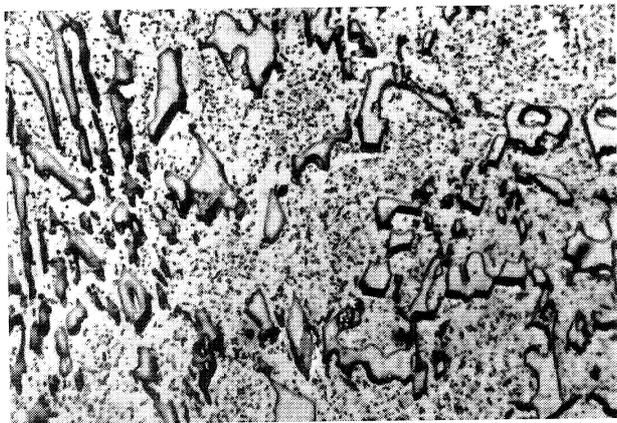


FIG. 13.— Estructura del metal: carburos en matriz ferrítica. Colada C-1. $\times 500$.

Fig. 13.— Metal structure: carbides in ferritic matrix. Heat C-1. $\times 500$.

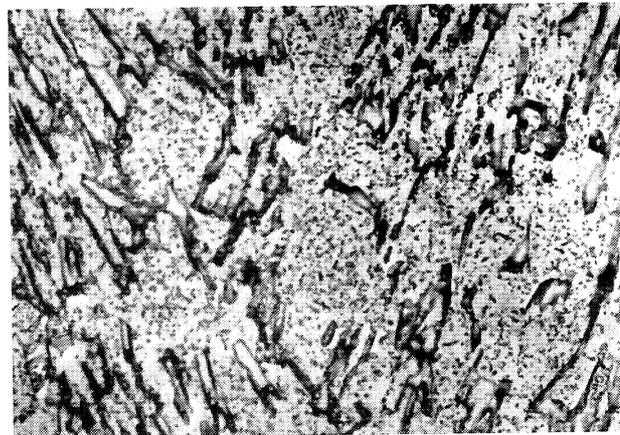


FIG. 14.— Estructura del metal: carburos en matriz ferrítica. Colada C-7. $\times 500$.

Fig. 14.— Metal structure: carbides in ferritic matrix. Heat C-7. $\times 500$.

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el estudio realizado y los resultados obtenidos, se puede decir que:

- Es posible obtener, por fusión en molde, un todo solidario de codo de fundición inoxidable ferrítica de calidad GX 260 Cr 27 (DIN 1695) con tubería composite de Incolloy 800 HT recubierta interiormente de material Stal 2465, insertada en las bocas cilíndrica y cónica del codo citado.
- Los mejores resultados se obtienen cuando la geometría de los canales realizados en la superficie exterior de los tubos composite son de morfología cuadrada con aletas finas y radio de acuerdo.