

anuario

1994

INSTITUTO
DE ESTUDIOS
ZAMORANOS
FLORIAN
DE OCA MPO



RECEIVED
MAY 10 1964
U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
WASHINGTON, D.C.

RECEIVED
MAY 10 1964
U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
WASHINGTON, D.C.

ANUARIO 1994

INSTITUTO DE ESTUDIOS ZAMORANOS
"FLORIÁN DE OCAMPO" (C.S.I.C.)

anuario

1994

INSTITUTO

DE ESTUDIOS

ZAMORANOS

FLORIAN

DE OCA MPO



CONSEJO DE REDACCIÓN

Miguel Ángel Mateos Rodríguez, Enrique Fernández-Prieto, Miguel de Unamuno,
Juan Carlos Alba López, Juan Ignacio Gutiérrez Nieto, Luciano García Lorenzo,
Jorge Juan Fernández, José Luis González Vallvé, Eusebio González, Amando de Miguel,
Concha San Francisco, Francisco Rodríguez Pascual, Antonio Pedrero Yéboles.

Secretario Redacción: Juan Carlos Alba López.

Diseño Portada: Ángel Luis Esteban Ramírez.

© INSTITUTO DE ESTUDIOS ZAMORANOS
“FLORIÁN DE OCAMPO”
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.)
DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ZAMORA.

ISSN.: 0213-82-12

Depósito Legal: ZA - 297 - 1988

Imprime: HERALDO DE ZAMORA. Santa Clara, 25 - 49014 ZAMORA
artes gráficas

ÍNDICE

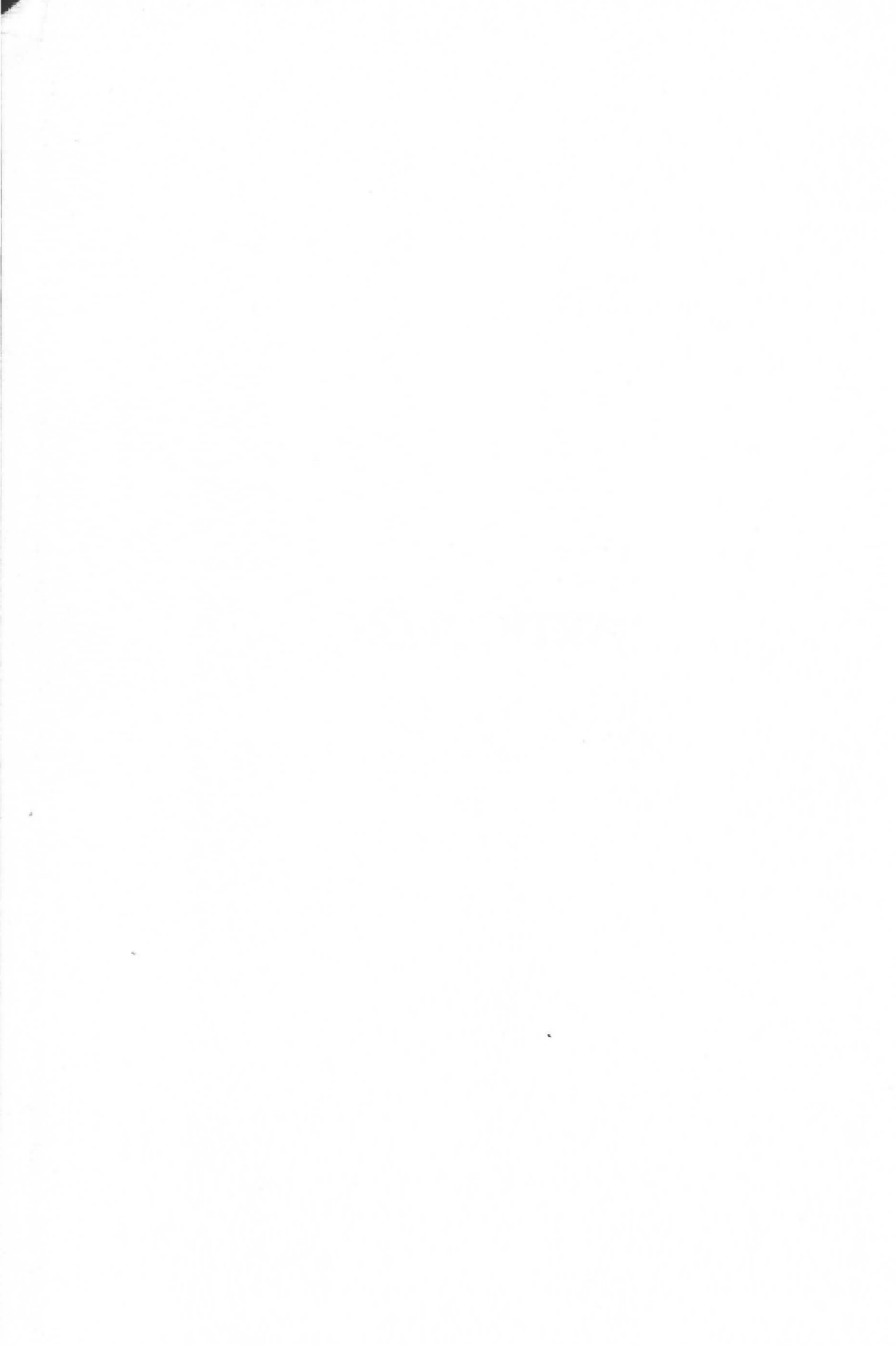
ARTÍCULOS

ARQUEOLOGÍA	15
Intervenciones arqueológicas en la provincia de Zamora. 1994	17
Ana M. Martín Arija, Luis Iglesias del Castillo, Mónica Salvador Velasco y Ana I. Viñé Escartín: <i>Nueva intervención arqueológica en el yacimiento «El Alba». Villalazán (Zamora)</i>	19
Manuel M. Presas Vias, Rosa M. Domínguez Alonso y Eduardo Moreno Lete: <i>Excavaciones arqueológicas de urgencia en el Pago de la Huesa (Cañizal)</i>	43
Fernando Miguel Hernández: <i>Aproximación arqueológica al Monasterio de Santa María de Moreruela</i>	59
Luis Iglesias del Castillo, Mónica Salvador Velasco, Ana I. Viñé Escartín y Ana M. Martín Arija: <i>Intervención arqueológica asociada a la restauración de la iglesia de San Miguel Arcángel, Moreruela de Tábara (Zamora)</i>	77
Mónica Salvador Velasco, Luis Iglesias del Castillo, Ana M. Martín Arija y Ana I. Viñé Escartín: <i>Excavación arqueológica en la iglesia de San Salvador de los Caballeros, Toro. Futuro Museo de Arte Sacro de la ciudad</i>	95
Ana M. Martín Arija, Luis E. Iglesias del Castillo, Mónica Salvador Velasco y Ana I. Viñé Escartín: <i>Nuevos datos arqueológicos en el entorno de la Catedral de Zamora</i>	109
Ana I. Viñé Escartín, Luis Iglesias del Castillo, Ana M. Martín Arija y Mónica Salvador Velasco: <i>Arqueología urbana en Zamora: Cl. Balborraz, nº 40</i>	123
Francisco Javier Sanz García, Miguel Angel Martín Carbajo, Gregorio José Marcos Contreras, Jesús Carlos Misiego Tejeda y Francisco Javier Pérez Rodríguez: <i>La plaza Antonio del Águila: documentación e intervención arqueológica en un solar del casco antiguo de Zamora. Angel Esparza Arroyo: Fuentes documentales para la investigación arqueológica de Zamora (I). El manuscrito de E. Gadea</i>	139
	165
ARTE	185
Inés Gutiérrez Carbajal: <i>«Amanecer jurídico del municipio zamorano»</i> .	187
Jesús Vecilla Domínguez: <i>El convento de Santo Domingo de Zamora..</i>	211
DIPLOMÁTICA Y PALEOGRAFÍA	237
Vicente Bécares Botas: <i>Los libros de la Catedral de Zamora en el siglo XVI</i>	239

Juan Carlos Galende Díaz: <i>Felipe IV y la escritura cifrada en España</i>	257
ECONOMÍA	267
Manuel de la Granja Alonso: <i>Villafáfila: siglo XX. Fin de la agricultura tradicional</i>	267
José Fernando Rodríguez Ferreras: <i>El proyecto de investigación y desarrollo para obtención de estaño electrolítico en la planta de Villaralbo</i>	309
EPIGRAFÍA	319
Inocencio Cadiñanos Bardeci: <i>Noticia de estelas romanas en Tierra de Alcañices</i>	321
ETNOGRAFÍA	329
M ^a Angeles Martín Ferrero: <i>Arquitectura rural sayaguesa: el ejemplo de Badilla</i>	331
HISTORIA	371
Enrique Fernández-Prieto: <i>El zamorano don Pedro Enríquez de Toledo, conde de Fuentes de Valdepero</i>	373
José-Andrés Casquero Fernández: <i>El culto y la devoción al Santísimo en la ciudad de Zamora</i>	385
Antonio Matilla Tascón: <i>La desamortización civil y el Teatro Principal de Zamora</i>	405
Pablo L. Rodríguez: «...en virtud de bulas, y privilegios apostolicos»: <i>Expedientes de oposición a maestro de capilla y a organista en la Catedral de Zamora</i>	409
Alberto Martín Márquez: <i>La Casa Galera y fábrica de paños de Zamora: Ejemplo de beneficencia eclesiástica en el siglo XVIII</i>	481
M ^a Auxiliadora Sevilla Pérez: <i>La Reforma Beneficial en la diócesis de Zamora</i>	509
LITERATURA	531
Luciano López Gutiérrez, Araceli Godino López: <i>Notas y testimonios sobre un manejo de términos vigentes en el habla de Villalpando</i>	533
Pedro Hilario Silva: <i>La meseta y el sur: Geografía y mito en la poesía del grupo del 60</i>	557
Luis Arrillaga: <i>Un canto a la vida (La poesía de Jesús Hilario Tundidor)</i>	585
Miguel Beas Miranda: <i>Análisis de una obra de Florián de Ocampo. Estudio comparativo</i>	599

SOCIOLOGÍA	617
José Manuel del Barrio Aliste: <i>Dinámica demográfica, diferenciación social y movimiento vecinal en la ciudad de Zamora</i>	619
ZOOLOGÍA	663
José Ignacio Regueras Grande: <i>Noticias sobre vertebrados silvestres atropellados en Zamora</i>	665
PREMIO INVESTIGACIÓN JOVEN	
Rosa María Capel Ruiz y Aurora Mateos Capel: <i>«La prensa zamorana ante la gran Guerra Europea: 1914-1918»</i>	693
MEMORIA Y ACTIVIDADES	
Memoria Año 1994	755

ARTÍCULOS



EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PARA OBTENCIÓN DE ESTAÑO ELECTROLÍTICO EN LA PLANTA DE VILLARALBO

JOSÉ FERNANDO RODRÍGUEZ FERRERAS

1. INTRODUCCIÓN

En el año 1994 finalizó en la fundición de estaño de Villaralbo, propiedad de la empresa «Estaños de Zamora, S. A.» la realización del proyecto de investigación y desarrollo (I + D) denominado «Obtención de estaño electrolítico» presupuestado en 268 millones de ptas. que la empresa acometió dos años antes, contándose para su conclusión con la financiación parcial del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (C.D.T.I.) del Ministerio de Industria y Energía, y en el que participó previa contratación el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (C.E.N.I.M.), dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.), bajo la dirección general de proyecto del autor del presente artículo.

Este proyecto resulta de gran interés, al obtenerse a partir de investigaciones desarrolladas en la provincia de Zamora, tan carente de acciones de este tipo, y al ofrecer como resultado final una planta de características singulares, como veremos más adelante, que se instaló en nuestra provincia.

El proyecto referido se subdividió en las parcelas de investigación por una parte, bajo la denominación de «Problemas relacionados con la obtención de estaño electrolítico. Desarrollo del proceso de fabricación y aprovechamiento integral de subproductos y residuos», llevándose a cabo las investigaciones en la propia empresa y en las instalaciones del C.E.N.I.M. en Madrid, y desarrollo por la otra parte, denominándose esta última «Desarrollo de planta para la producción de estaño electrolítico», que concluyó con la creación de la única planta de producción de estaño electrolítico a partir de concentrados de estaño existente actualmente en el mundo tras la desaparición de la planta electrolítica de Capper Pass (Reino Unido), que cesó en sus actividades en 1991. La planta electrolítica producto del mencionado proyecto desarrolla su trabajo en la localidad de Villaralbo, habiendo sido integrada en el diagrama de proceso de la fundición «Estaños de Zamora, S. A.».

En el presente artículo se expondrán las líneas fundamentales seguidas a lo largo del proceso de investigación, las conclusiones más importantes obtenidas y las características de la planta de afino instalada.

2. BREVES NOCIONES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ESTAÑO

Podríamos describir el proceso industrial metalúrgico de obtención del estaño metal fino (nombre con el que se denomina al metal con las características de pureza idóneas para su utilización) como una actividad que puede, básicamente, dividirse en dos partes completamente diferenciadas:

— *Fusión reductora y escorificante del concentrado de estaño*: el estaño se presenta en la naturaleza formando parte de diversos compuestos químicos, aunque de todos ellos, únicamente la casiterita (SnO_2) es el mineral que habitualmente se procesa para la extracción del estaño metal. El material procedente del tratamiento minero de concentración de la casiterita se denomina concentrado de estaño, y pese a estar formando mayoritariamente por casiterita, contiene también proporciones apreciables de otros compuestos cuya presencia en el concentrado determina el tipo de fusión a adoptar y el tratamiento posterior adecuado que precisará el estaño metal. Esta ganga estará compuesta principalmente por óxidos de calcio, silicio y por último de óxidos de una serie de metales característicos (Al, Fe, Pb, Cu, As, Bi, etc.). Las características de la casiterita y de los componentes asociados como impurezas imponen la necesidad de realización de una fusión reductora, para eliminar el oxígeno de la casiterita liberándose así el metal, y escorificante, para pasar la ganga a escoria. No es objeto del presente artículo el reflejar la química de la fusión, pero sí que será preciso tener presente que parte de estos óxidos serán reducidos conjuntamente con la casiterita, y por tanto afectarán a la composición del metal obtenido, mientras que otra parte no serán reducidos pasando a formar parte de la escoria.

La fusión de los concentrados de estaño se realiza en diversos tipos de hornos industriales, habiéndose utilizado para ello hornos de reverbero, rotativos, cubilote, ciclón, etc. En España, a lo largo del presente siglo se realizó la fusión en hornos eléctricos, preferibles a los anteriores por su mayor rango de temperaturas de proceso, lo que les faculta para el reprocesamiento con sílice y ferrosilicio de las escorias producidas.

— *Afino del estaño metal*

Del anterior proceso de fusión se obtendrán dos productos perfectamente separables entre sí por diferencia de densidades: por un lado la escoria, que precisará de un posterior tratamiento, y por otro el estaño metal, que al no haber sido aún afinado recibe las denominaciones de «bruto» o «crudo».

Como se comentó anteriormente, una serie de óxidos metálicos eran reducidos conjuntamente con la casiterita en el proceso de fusión. Por tanto, los metales procedentes de esta reducción se encontrarán en aleación con el estaño metal formando el mencionado estaño bruto. Será preciso por tanto eliminar estas impurezas metálicas hasta unos niveles determinados. Este proceso de eliminación se denomina afino y abarca todo el campo de técnicas metalúrgicas que tienen como fin la purificación del metal.

El procedimiento de afino mayoritariamente empleado es el denominado pirometalúrgico, y como su nombre indica se realiza con ayuda del fuego. Este proceso ha evolucionado a lo largo de los siglos hasta culminar en la actualidad en una tecnología altamente desarrollada. El proceso se realiza en la actualidad en hornos de reverbero, donde con ayuda de grandes crisoles y potentes agitadores se añaden reactivos al baño de estaño metal en estado líquido para conseguir eliminar elemento a elemento cada una de las impurezas metálicas que son retiradas del crisol gracias a la menor densidad de los compuestos que forman con los reactivos añadidos frente a la elevada densidad del estaño metal. Una variante del afino pirometalúrgico es la cristalización térmica, desarrollada en China y de reciente implantación en Iberoamérica fundamentalmente.

El estaño final obtenido, libre ya de impurezas metálicas y que recibe el nombre de estaño fino, es apto para las diferentes utilidades del mismo (hojalata, electrónica, aleaciones, industria química, bronce, etc.).

3. EL AFINO ELECTROLÍTICO DEL ESTAÑO

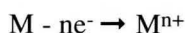
Este proceso se ofrece como alternativa al sistema de afino por vía pirometalúrgica, presentando las ventajas de una reducción drástica del volumen de residuos ricos en estaño producidos y de un mayor nivel de purificación del metal, así como la posibilidad de tratar una más amplia gama de impurezas metálicas y concentración de las mismas frente a aquel proceso. El inconveniente fundamental es la elevada «ratio de stock» (producción diaria/metal acumulado en planta), lo que encarece su utilización en épocas de bajos precios del metal.

El proceso electrolítico de afino de estaño a nivel industrial fue ensayado en un reducido número de factorías en todo el mundo; así se realizaron trabajos en las plantas de Birken Head, Bootle Plant, Williams Harvey y Capper Pass (Reino Unido), Berzelius Berke (Alemania), Estaño Eléctrico (Méjico), Pinyok (Tailandia), Texas City (U.S.A.), Vinto (Bolivia), Cesbra y Perth Amboy (Brasil), Yunnah Tin Co. (China) y Sociedade Mineira de Paiva (Portugal), si bien ninguna de ellas presenta las características de la planta de Villaralbo. Actualmente las plantas referidas han desaparecido, siendo la última en hacerlo Capper Pass, como se comentó con anterioridad.

El proceso de afino electrolítico se basa en la comparación del potencial normal electroquímico del metal a afinar frente a los potenciales del resto de metales que actúan como impurezas en un medio determinado (ácido en el caso de la planta de referencia). El potencial electroquímico nos proporcionará la tendencia del metal para oxidarse o reducirse.

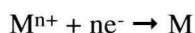
Para el desarrollo del proceso precisaremos la existencia de cuatro elementos básicos:

— Una zona anódica. Electrodo donde se produzca una oxidación o pérdida de electrones siguiendo la reacción:



donde M es el átomo del metal y e el electrón.

— Una zona catódica. Electrodo donde se produzca una reducción o ganancia de electrones siguiendo la reacción:



— Un electrolito. Fuente de iones que producirá la conducción de corriente eléctrica entre ánodo y cátodo.

— Un circuito eléctrico. Conducción continua de corriente entre ánodo y cátodo una vez entren ambos en contacto con el electrolito.

Estos cuatro elementos confluyen en el instrumento de desarrollo del proceso: la celda electrolítica. Ésta estará formada por un generador de corriente continua a cuyos polos (+) y (-) se conectarán ánodo y cátodo respectivamente. El circuito se cerrará mediante el electrolito, líquido que se encontrará contenido en un contenedor de dimensiones adecuadas. Ánodo y cátodo serán sumergidos en el electrolito para que, una vez establecido el suministro de corriente eléctrica continua, se inicie el proceso de corrosión. El metal a tratar por tanto se disolverá en el ánodo siguiendo el proceso de pérdida de electrones descrito anteriormente y, pasando por el electrolito, se depositará finalmente en las paredes del cátodo, en el que se producirá la ganancia de electrones y formación del metal a partir del ion metálico. La ley de Faraday regirá la cantidad de depósito catódico siguiendo la ecuación:

$$W = A I t / n F$$

Donde:

- W = peso del metal depositado en el cátodo (gramos)
- t = tiempo (segundos).
- A = peso atómico del metal.
- n = n^o de electrones en la reacción.

- F = constante de Faraday (96.500 C)
- I = densidad de corriente (Amperios/s).

Al mismo tiempo que se produce el depósito catódico, los metales restantes, que acompañaban como impurezas al metal principal, se depositarán en forma de sales insolubles en las paredes del ánodo y en el fondo de la celda electrolítica, siendo precisa su limpieza periódica para evitar fenómenos indeseables, tales como la pasivización anódica.

Estas sales insolubles reciben el nombre de lodos anódicos.

Industrialmente, el proceso de afino electrolítico del estaño se desarrolla moldeando los ánodos en forma de planchas de un grosor cercano a los 3 cm utilizando el denominado estaño «crudo» o «bruto», es decir, sin afinar, procedente de la fusión del concentrado de estaño en los hornos. Por otra parte, los cátodos se modelan utilizando estaño ya afinado, conformándose en láminas de menor grosor que los ánodos (habitualmente 0,5 cm). Para la obtención de la producción necesaria de la planta, se dispone de un conjunto de contenedores o celdas electrolíticas que se conectarán en serie mediante el sistema denominado «Walker». En cada una de estas celdas se dispondrá un cierto número de ánodos y cátodos en forma alternativa (cátodo - ánodo - cátodo - ... - ánodo - cátodo). Los ánodos se conectarán al polo (+) de la celda y los cátodos al (-). El electrolito y la conexión de la 1ª y la última celda de la serie al generador de corriente continua cerrará el circuito. Los parámetros de número de celdas, número de ánodos y cátodos y peso de los mismos dependerán de las necesidades de producción de la planta. Por último se disponen mecanismos accesorios tales como puentes grúa para el transporte de ánodos y cátodos y máquinas cepilladoras para la limpieza periódica de los lodos anódicos.

La pretensión final del proceso electrolítico de afino del estaño será consiguiendo la obtención de cátodos de estaño con el grosor y la pureza suficientes para su licuación y posterior comercialización.

4. EL PROYECTO I + D EN LA PLANTA DE VILLARALBO

Múltiples son los parámetros que intervienen en mayor o menor medida en el proceso electrolítico y que afectan a la calidad final del estaño electrolítico obtenido. Entre ellos podemos enumerar los siguientes:

- La densidad de corriente (intensidad /superficie catódica útil por celda).
- El tipo de electrolito y su composición en cuanto a agente corrosivo libre, iones Sn^{2+} y Sn^{4+} , agentes aditivos (inhibidores de crecimiento cristalino), etc.
- La temperatura y caudal circulante por celda del electrolito.
- La composición química inicial de ánodos y cátodos.
- La separación ánodo-cátodo en la celda.

Todas estas variables hacen que el estudio del proceso electrolítico sea de gran complejidad y requieren de una importante dedicación en tareas experimentales previas enfocadas a la obtención de los resultados deseados para ser posteriormente aplicados en la fase de producción plena. El proceso se complica aún más cuando el electrolito es de nueva creación.

El trabajo que se desarrolló en la planta de Villaralbo consistió en definitiva en la creación de un electrolito completamente nuevo, estudiándose en planta piloto su comportamiento en el afino del metal mediante la alteración de los valores de las variables anteriormente mencionadas. La pretensión era la de la obtención de una pureza adecuada, el control de los depósitos catódicos de naturaleza anómala (depósitos dendríticos o pulverulentos e inconsistentes) y por último la consecución de rendimientos óptimos de producción todo ello previamente a la aplicación del proceso a gran escala. Los resultados buscados eran la obtención de unos valores óptimos para los parámetros anteriormente reflejados o bien un rango de los mismos en que el proceso se desarrollara en la forma deseada. Esta fue la fase de investigación (I).

La fase de desarrollo (D) consistió en la proyección y construcción de una planta industrial de afino electrolítico de estaño con una capacidad de producción de 1.800 Tm. anuales de estaño fino electrolítico, aplicándose en ella las conclusiones obtenidas en la fase de investigación y por último en una optimización del proceso ya a gran escala, ofreciéndose alternativas para el tratamiento de los lodos anódicos.

4.1. Principales conclusiones obtenidas en el proceso de investigación

Los estudios de investigación acerca del proceso se desarrollaron fundamentalmente en una planta piloto a escala construida expresamente para el proyecto; dicha planta se instaló en los laboratorios de la factoría en Villaralbo, y se contó con las más modernas técnicas analíticas para el control de los resultados obtenidos. Los depósitos fueron así sistemáticamente analizados por espectrometría de absorción atómica (A.A.) y plasma (I.C.P.).

En la planta mencionada se creó y perfeccionó un electrolito de tipo ácido dentro de la variedad de los electrolitos de sulfato, acerca de los cuales realizaron algunas investigaciones científicos prestigiosos en el campo de la metalurgia entre los que cabe destacar a Mantell, Mackey, Boxal y Wright. No obstante, las concentraciones presentes en este electrolito y la clase de agentes aditivos utilizados varían substancialmente de los estudios referidos.

El electrolito de sulfato estannoso se fabricó en la planta a partir de ataques de SnO con ácido sulfúrico y posteriormente se diluyó en agua hasta alcanzar el abanico de concentraciones en ácido libre e iones estannoso y estannico a estudiar. Los valores óptimos obtenidos para el ion estannoso se refleja en la tabla nº 1. La concentración ideal de ácido sulfúrico libre no es un parámetro crítico

siempre que se fije por encima de los 100 g/l. La concentración de Sn^{4+} no afecta excepto para conocer una posible pérdida de ion estannoso en el electrolito.

Los agentes aditivos, denominados inhibidores de crecimiento cristalino fueron creados a partir de mezclas de diversos productos, entre los que figuran xantatos y colas de origen animal, si bien se omite en el presente artículo su completo desarrollo al pertenecer al lógico secreto industrial, lo cual no afecta al seguimiento del proceso de investigación.

El estudio del comportamiento del electrolito se conjugó con la aplicación de diferentes densidades de corriente, y al ser estos dos factores los primordiales para la determinación del tipo de depósito catódico, se confeccionó como conclusión experimental más importante la tabla nº 1 antes referida.

La temperatura idónea del electrolito se fijó en 35° C. Al aumentar la temperatura a partir de 0° C, el rendimiento del proceso aumenta, pero sobrepasados los 35° C se forman iones Sn^{4+} a partir de los Sn^{2+} , siendo aquellos improductivos para el proceso electrolítico y generándose la lógica disminución en la concentración de los Sn^{2+} .

El caudal óptimo del electrolito en la celda se fijó de tal forma que se consideran adecuadas 3 renovaciones/hora del total de la celda. De todas formas éste no es un parámetro crítico.

En cuanto a la distancia ánodo-cátodo, a lo largo de las investigaciones no se ha observado un valor idóneo, pudiéndose por tanto variar dicho parámetro sin afectar al rendimiento final de la planta ni a la «ratio de stock» ya definida. Este hecho ya fue comprobado por P. A. Wright en sus consideraciones acerca del proceso electrolítico.

Como se ha comentado, la obtención de un depósito homogéneo es el fin fundamental a alcanzar en el proceso electrolítico. Conviene por tanto evitar los depósitos no orientados y los dendríticos (formaciones de cristales o agujas arboladas que llegan a originar contactos ánodo-cátodo, creando cortocircuitos que malogran el rendimiento de la celda. Conviene estudiar las posibles combinaciones de las tres variables que afectan prioritariamente al tipo de depósito:

- Densidad de corriente (denominada en la tabla con el nº 1).
- Concentración de Sn^{2+} (denominada en la tabla con el nº 2).
- Concentración de inhibidores de crecimiento cristalino (denominada en la tabla con el nº 3).

Dando a las variables los siguientes valores:

— *Densidad de corriente:*

Bajo: 0,2 - 0,8 A/dm²

Medio: 0,8 - 1 A/dm²

Alto: 1 - 2 A/dm²

- *Concentración de Sn²⁺*
 Bajo: 15 - 20 g/l
 Medio: 20 - 24 g/l
 Alto: superior a 24 g/l
- *Agentes aditivos (I.C.C.)*
 Bajo: 0,3 - 0,8 g/l
 Medio: 0,8 - 1 g/l
 Alto: 1 - 1,5 g/l

Se podrá entonces construir la siguiente tabla obtenida a partir de los resultados experimentales:

TABLA N^o 1: Control del depósito

(3) ↓	(1) → Bajo (2) → Alto	Medio Medio	Alto Bajo
Bajo	Depósito orientado y homogéneo	Depósito orientado semidendrítico	Dendrítico
Medio	Depósito orientado y homogéneo	Depósito orientado y compacto	Depósito orientado y compacto
Alto	Depósito orientado y homogéneo	Depósito orientado y compacto	Depósito no orientado y compacto

Por último, y en referencia a la calidad del depósito catódico obtenido, se obtuvieron excelentes calidades de estaño fino, con valores de 99,98 % de contenido en Sn y eliminación casi absoluta de los elementos metálicos asociados, tales como Pb, Cu, Fe, Sb, As, Zn, Bi, Cd e In. Resultaría excesivamente extenso el reflejar aquí los resultados puntuales obtenidos, dada la importante variedad de tipos de ánodos de estaño que fueron tratados en el proceso investigador.

4.2. La planta electrolítica (el proceso de desarrollo)

Como resultado del proceso de investigación descrito se proyectó y construyó una planta industrial compuesta por 56 celdas electrolíticas, cada una de ellas con 16 cátodos y 15 ánodos. El volumen de electrolito es de 82 m² y es suministrado a cada una de las celdas por una red de alimentación y recogida en

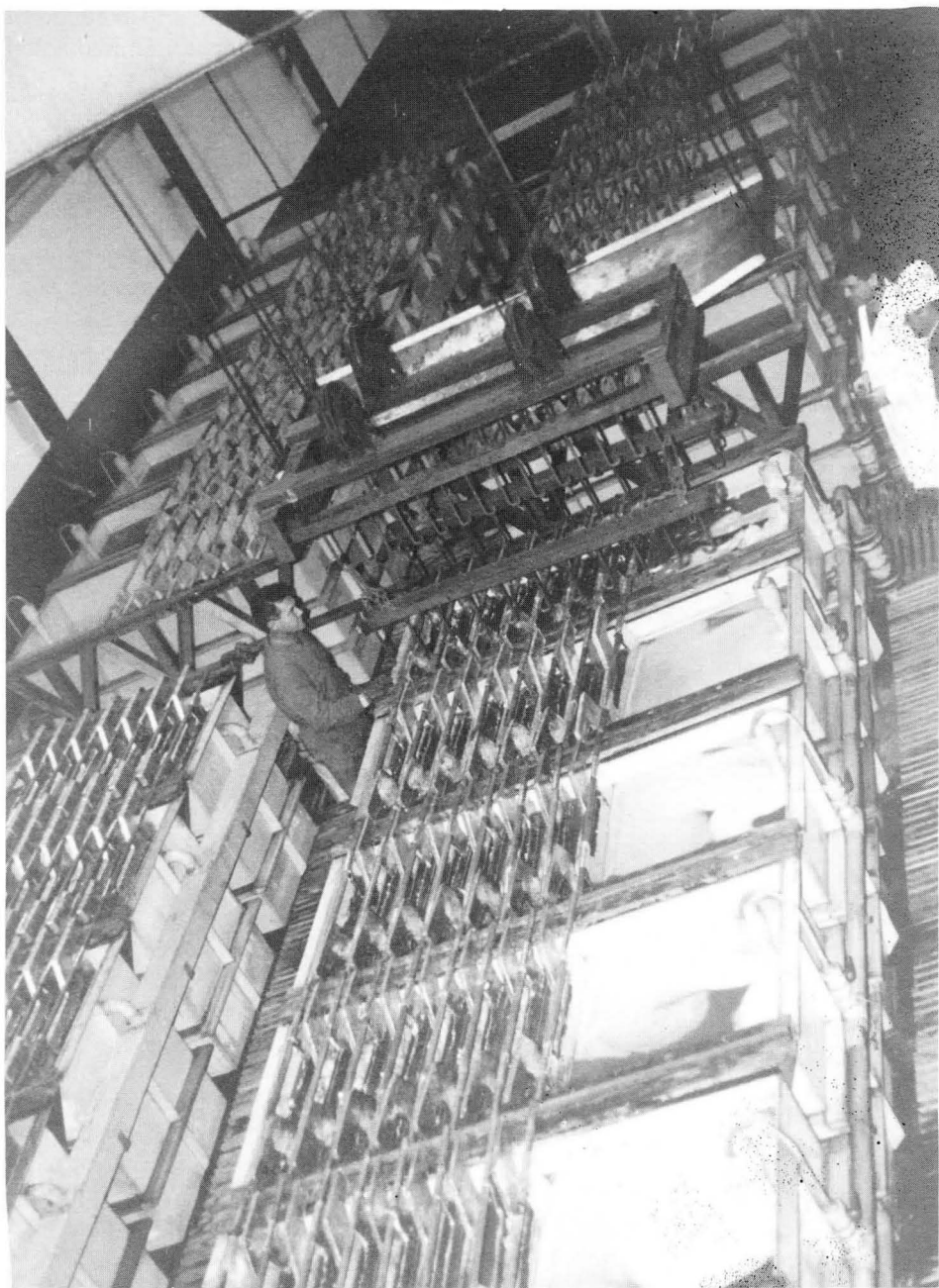


FOTO N° 1: Vista de las secciones A y B de la planta electrolítica.

circuito cerrado combinándose la alimentación por bombeo y gravedad. El calentamiento se realiza mediante un intercambiador de calor. La alimentación de corriente continua se realiza desde un rectificador de 0 - 5.000 A y la conducción se realiza por embarrados de cobre rígido. La planta dispone asimismo de instalaciones de transporte de electrodos y limpieza de cátodos. La planta funciona actualmente ensayando nuevos sistemas de tratamiento electrolítico.

En la página anterior puede observarse una toma fotográfica de una sección de la planta en estado operativo.

BIBLIOGRAFÍA:

Al tratarse de un trabajo fruto principalmente de la investigación experimental, me remito a referir dos publicaciones con base teórica para los interesados en el tema:

WRIGHT, P. A. (1982): *Extractive metallurgy of tin*. Ed. Elsevier. Oxford, pp. 241-254.

MURACH, N. N.; SEVRYUKOV, N. N.; POLKIN, S. I. y BYKOV, Y. A. (1964): *Metallurgy of tin*. Ed. E. C. Ellwood. Yorkshire. Vol. 2, pp. 397-405.