



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

15104-S

Serie "Desarrollo y transferencia de tecnología"

Núm. **21**

**EL USO
ECONÓMICO
DEL
ALUMINIO**



2

EL USO ECONÓMICO DEL ALUMÍNIO

Serie "Desarrollo y transferencia de tecnología", núm. 21

EL USO ECONÓMICO DEL ALUMINIO



**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL**

Viena, 1987

Las opiniones que los autores expresan en este documento no reflejan necesariamente las de la Secretaría de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

El material contenido en la presente publicación puede citarse o reproducirse con entera libertad siempre que se mencione su origen y se remita a la Secretaría un ejemplar de la publicación en que figure la cita o la reproducción.

La mención de empresas en el presente documento no entraña juicio alguno sobre ellas ni sobre sus productos por parte de la ONUDI.

Prefacio

El presente volumen de la Serie "Desarrollo y transferencia de tecnología" se basa en el estudio "The economic use of aluminium" (UNIDO/IOD.335), preparado para la Sección de Industrias Metalúrgicas de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) por A. Boker, A. B. Domony e I. Varga, de Hungría, y refleja en gran medida, pero no exclusivamente, la experiencia de ese país. En el estudio se señalan los factores que influyen en la producción y el consumo de aluminio y las principales razones que justifican el empleo de este metal; se describe también cómo y en qué circunstancias el consumo de aluminio aumenta en un país en desarrollo.

Se hace referencia a varias fuentes internacionales de información sobre el aluminio; se puede obtener información adicional de la Sección de Información Industrial, ONUDI, Centro Internacional de Viena, A-1400 Viena, Austria.

NOTA EXPLICATIVA

Salvo indicación en contrario, la palabra "dólares" o el símbolo (\$) se refieren a dólares de los Estados Unidos.

Salvo indicación en contrario, la palabra "libras" o el símbolo (£) se refieren a libras esterlinas.

La raya inclinada (/) entre cifras que expresan años (por ejemplo, 1980/81) indica un ejercicio financiero.

El guión (-) puesto entre cifras que expresen años (por ejemplo, 1980-1985) indica que se considera el período completo, ambos años inclusive.

En los cuadros se han empleado los siguientes signos:

Los puntos suspensivos (. . .) indican que los datos faltan o no constan por separado.

Dos rayas (— —) indican que la cantidad es nula o despreciable.

La raya (—) indica que el concepto de que se trata no es aplicable.

Es posible que los totales no representen una suma exacta, por haberse redondeado las cifras.

Además de las abreviaturas, símbolos y términos comunes, en el presente informe se han utilizado los siguientes:

CIDA	Centro Internacional de Desarrollo del Aluminio
CPV	cloruro de polivinilo
DIN	Deutsche Industrie Norm
OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
PIB	producto interno bruto
PNB	producto nacional bruto

ÍNDICE

	<i>Página</i>
Introducción	1
 <i>Capítulo</i>	
I. USO MUNDIAL DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES.....	3
Materiales estructurales	3
Tendencias de la producción y del consumo	3
Fijación de precios	17
II. USO DEL ALUMINIO EN NUEVAS APLICACIONES	23
Consideraciones favorables	23
Otras consideraciones	28
III. PROMOCIÓN DEL USO DEL ALUMINIO	33
Organismos de asesoramiento	33
Investigación y desarrollo	34
Realización de productos	35
IV. APLICACIONES DEL ALUMINIO	37
Ingeniería eléctrica	37
Ingeniería química y elaboración de alimentos	46
Termopermutadores	56
Aplicaciones diversas	58
V. REALIZACIÓN DE PRODUCTOS	71
Normalización	71
Manuales	72
Reglamentaciones	73
Abstract—Sommaire	75

Lista de cuadros

1. Consumo mundial de materiales estructurales, 1935-1980.....	4
2. Índices de aumento del consumo mundial de los principales materiales estructurales.....	4
3. PIB <i>per capita</i> en relación con el consumo de aluminio.....	7
4. Tasas medias de crecimiento anual del PNB: previsiones hasta el año 2000	10
5. Consumo mundial de los materiales estructurales metálicos más importantes por décadas hasta el año 2000	10

6.	Aumento del consumo mundial de aluminio por tipo de economía, 1978-2000	10
7.	Aumento del consumo mundial de aluminio por grupos económicos, 1978-2000	11
8.	Previsión de las tasas de aumento anual del consumo de aluminio	11
9.	PNB y tasas de crecimiento, 1975, 1985 y 2000	12
10.	Aumento del consumo mundial de los principales metales estructurales primarios hasta el año 2000	12
11.	Consumo bruto de aluminio primario y secundario, 1970-2000	14
12.	Aumentos anuales medios del consumo bruto de aluminio primario y secundario	15
13.	Consumo mundial de acero, 1970-2000	15
14.	Aumentos medios anuales del consumo de acero	16
15.	Distribución del consumo mundial de aluminio por grupos económicos, 1970-2000	16
16.	Distribución del consumo mundial de acero por grupos económicos, 1970-2000	16
17.	Consumo de aluminio por sector industrial en Italia, 1977-2000	17
18.	Uso del aluminio, por sector, en las economías europeas de mercado y en varios otros países ...	18
19.	Precios medios mundiales de determinados materiales estructurales, 1935-1981	19
20.	Precios mundiales relativos de determinados materiales estructurales, 1935-1981	19
21.	Tasa de corrosión del aluminio, el cobre y el zinc en circunstancias diferentes	27
22.	Precios de determinados materiales en comparación con su resistencia mecánica	28
23.	Consumo de energía en cada etapa de producción de acero, cobre y aluminio	29
24.	Costos de inversión de una fábrica de aluminio plenamente integrada con una capacidad de 100.000 tons/año	30
25.	Relación de la aparición de nuevos productos con el aumento del consumo de aluminio en varios países	36
26.	Consumo de aluminio por parte de la industria de ingeniería eléctrica en determinados países ..	38
27.	Resistencia y precio de tres cables de alta tensión de diferentes materiales sobre una base de igual peso	39
28.	Propiedades de los conductores comúnmente utilizados en las líneas aéreas	39
29.	Capacidades máximas de corriente de los conductores aéreos de alta tensión	39
30.	Utilización de hojalata y aluminio en la fabricación de latas y cajas de metal en los Estados Unidos, 1965-1971	50
31.	Uso estimado de latas en los Estados Unidos, 1968-1972	50
32.	Empleo de latas de estirado profundo con paredes reducidas en los Estados Unidos, 1973 y 1974	53
33.	Propiedades de los tubos plegables	55
34.	Empleo de hojas de aluminio por la industria de alimentos	55
35.	Copas y pequeños envases de hoja combinada esterilizables	56
36.	Características de los metales utilizados para los permutadores térmicos	57
37.	Tasa específica de transmisión del calor en los canales fabricados con distintos materiales	57
38.	Cantidad prevista de materiales estructurales utilizados en la fabricación de automóviles de turismo, 1975, 1980 y 1990	58
39.	Clasificación de las principales técnicas de fundición, 1970-1974	59
40.	Propiedades de los diferentes métodos de fundición	59
41.	Cantidad de aluminio utilizada en la fabricación de un automóvil, 1965-1985	61

Lista de figuras

I.	Consumo de aluminio <i>per capita</i> en 29 países con relación a su PIB <i>per capita</i> , 1976	5
II.	Curvas de consumo de aluminio con respecto al PIB en 29 países, 1937, 1960, 1968 y 1976	6
III.	Consumo de aluminio en 10 países, en diversos años	7
IV.	Consumo <i>per capita</i> y PIB <i>per capita</i> de algunos materiales estructurales en 29 países, diversos años	8
V.	Proyecciones del consumo mundial de varios metales primarios (índice relativo)	13
VI.	Proyecciones del consumo de algunos metales primarios no ferrosos	13

VII. Crecimiento mundial de la industria del aluminio. 1940-1975, y crecimiento previsto, 1975-2000.....	20
VIII. Precios de las semimanufacturas de aluminio y de acero laminado en Francia, 1960-1976 ...	25
IX. Absorción de anhídrido sulfuroso en la superficie de los metales	27
X. Demanda de utensilios de cocina de aluminio en algunos países desarrollados de Europa ...	37
XI. Cables aéreos	40
XII. Sección de un cable de aluminio con un hilo neutro de tres conductores	41
XIII. Sección de un cable de aluminio con un hilo neutro de tres conductores para una corriente nominal de 0,6 a 1 kV	41
XIV. Sección transversal de un cable de alta tensión	42
XV. Eficacia en función de los costos de los transformadores con bobinas de aluminio y con bobinas de cobre.....	43
XVI. Un barril de cerveza con tres juntas circulares y una espita soldada	48
XVII. Línea de producción automática para la fabricación de lata y cajas de estirado profundo ...	52



Introducción

La utilización generalizada del aluminio a escala industrial empezó en el decenio de 1930. Hubo un aumento considerable de la producción de aluminio, particularmente en América del Norte y Alemania, durante la Segunda Guerra Mundial con el fin de satisfacer la demanda creciente de las industrias de guerra, especialmente la fabricación de aeronaves. Debido a la escasez de otros materiales estratégicos, el aluminio se utilizó también en otros sectores. La ingeniería eléctrica y la fabricación de vehículos de transporte fueron los dos sectores más destacados por su uso final, seguidos a escala más modesta por la ingeniería química y la laboración de alimentos.

En el período de reconstrucción de posguerra, al disponerse de grandes existencias de aluminio para uso civil, pronto se descubrieron nuevas salidas para el producto, con inclusión de casas corrientes prefabricadas, la construcción naval y la ingeniería eléctrica y el equipo de elaboración de alimentos. A partir de 1955, los principales fabricantes de aluminio del mundo idearon nuevas estrategias para impulsar el consumo de aluminio, con el fin de hallar nuevos mercados para su producción en aumento. Durante ese período se descubrieron nuevos usos del aluminio que, a la larga, han resultado factibles desde el doble punto de vista técnico y económico. La situación del mercado del aluminio en esa época se reforzó debido a que se habían producido cambios considerables en la fijación de los

precios de otros materiales estructurales en favor del aluminio, tendencia que continuó en los años siguientes.

En el presente volumen se refleja la experiencia de Hungría en lo que respecta a la producción de aluminio, pero esa experiencia sería aplicable a los países en desarrollo que tienen características geofísicas y económicas semejantes, es decir, abundantes recursos de bauxita, pero pocos metales pesados no ferrosos, escasa madera y un reducido número de productos de acero. En general, el establecimiento de una industria integrada de aluminio en los países menos adelantados requiere ciertos factores geofísicos y económicos.

El estudio trata de la interacción de los factores económicos que influyen en el aumento del consumo de aluminio; describe también los esfuerzos que se llevan a cabo en los sectores de la producción y el consumo. Se citan ejemplos de aspectos del diseño, la fabricación de prototipos y la producción en serie, en Hungría y en otros países, para ilustrar de qué forma se puede sacar el máximo partido de los recursos internos y cómo se pueden utilizar los conocimientos técnicos obtenidos del extranjero. También se abordan la organización, la capacitación y la política científica, que son esenciales para promover el consumo de aluminio. Los ejemplos citados no pretenden constituir una panacea para resolver todos los problemas ni modalidades fijas que se han de respetar estrictamente.

I. Uso mundial de los materiales estructurales

Los esfuerzos destinados a impulsar el consumo del aluminio se concentraron primero en la elaboración de nuevas tecnologías y en la introducción de productos para sustituir a los materiales estructurales tradicionales (por ejemplo, el cobre por el aluminio en los conductores eléctricos, papel metálico y tubos de embalaje plegables de aluminio en lugar de estaño, los objetos para el servicio de mesa de aluminio). Debido a los cambios en los precios de los metales no ferrosos en los últimos 40 años, el aluminio ha pasado a ser objeto de atención. Por supuesto, el alcance y las perspectivas concretas han dependido siempre de las condiciones locales. Entre éstas cabe mencionar el acceso a las materias primas o los materiales estructurales y la medida en que las políticas industriales y la situación económica general han favorecido al aluminio. En épocas más recientes un factor importante que ha dado nuevo impulso al uso del aluminio ha sido su mayor eficacia en función del costo tanto para el productor como para el consumidor [1].

Materiales estructurales

En el presente estudio, la expresión "materiales estructurales" se refiere no sólo a los metales ferrosos y no ferrosos, sino también a los plásticos, la madera y el cemento. Mediante el empleo de una multitud de datos sobre el consumo del aluminio pasado y presente en todo el mundo, se ha concebido un sistema complejo de índices tecnoeconómicos para prever el consumo futuro de aluminio a diferentes niveles de desarrollo económico. En cuanto a su método, la presente investigación es fundamentalmente diferente de la de otros autores. En informes anteriores se realizaron correlaciones entre cada uso específico de un material y el producto interno bruto (PIB) de un país determinado; en este estudio se ha intentado sintetizar esas correlaciones y presentar las tendencias del consumo de una manera más unificada.

En una primera etapa de la historia de la industria del aluminio los especialistas comprendieron que este material era un sustituto eficaz y económico del cobre en la conducción de la electricidad. Poco tiempo después, el estaño desapareció en la mayor parte de los tipos de

embalaje, lo que abrió el camino para nuevos progresos de la industria del aluminio. A continuación entraron en escena la ingeniería química y luego la ingeniería eléctrica, en las que el plomo podía ser sustituido por el aluminio (para las cisternas y los contenedores y para el revestimiento de los cables). En la industria de los vehículos de transporte, el aluminio, gracias a su ligereza, pasó pronto a ser un competidor del hierro fundido. Al reducir el peso de los vehículos de transporte, era posible lograr considerables economías de energía, aspecto importante dada la actual situación mundial de la energía. Como secuela de nuevos cambios en la industria de la edificación, los diseños tradicionales que utilizaban la madera, el hormigón armado o el acero fueron sustituidos por el aluminio (por ejemplo, para los marcos de las ventanas y las puertas, los revestimientos metálicos y las estructuras que soportan la carga de los edificios). Los componentes de construcción de aluminio reducen el tiempo de montaje y los gastos de mantenimiento y dan la posibilidad de transportar elementos completos de las construcciones a largas distancias con facilidad y montarlos en el lugar de la obra en un tiempo mínimo (por ejemplo, las cámaras de refrigeración). Gracias a su elevada resistencia a la acción corrosiva de los elementos naturales, el aluminio se ha convertido también en un sustituto muy eficaz en varios otros campos (por ejemplo, la edificación, los vehículos de transporte y el embalaje de alimentos), y su resistencia a la corrosión se compara favorablemente con la de la lámina de estaño o el acero revestido de zinc. Dada la constante escasez de algunos metales pesados no ferrosos como el estaño y el zinc, esta tendencia es de prever que continuará. El presente estudio incluye el plástico con el fin de evaluar su repercusión potencial en el consumo de aluminio a largo plazo.

Tendencias de la producción y del consumo

La tasa de aumento del consumo de aluminio ha sido elevada en los últimos 40 años y muy superior a la de los materiales estructurales tradicionales (véanse los cuadros 1 y 2). Este aumento fue especialmente fuerte de 1960 a 1970. Aunque después del aumento de los precios del

CUADRO I. CONSUMO MUNDIAL DE MATERIALES ESTRUCTURALES, 1935-1980

(Millones de toneladas)

Materiales estructurales	1935	1950	1960	1965	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Aluminio (primario)	0,3	1,5	4,5	6,5	10,2	11,3	13,1	15,0	14,6	15,2	16,0
Cobre	1,8	3,2	5,0	6,1	7,6	7,5	8,5	9,0	9,2	9,4	9,4
Plomo	1,4	1,8	2,7	3,1	4,0	3,9	4,3	4,9	5,0	5,6	5,3
Estaño	0,2	..	..	0,2	0,22	0,23	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24
Zinc	1,4	2,1	3,2	4,1	5,2	5,0	5,8	5,8	5,0	6,5	6,6
Acero	124,0	187,0	343,0	458,0	588,0	646,3	681,8	677,0	..	746	717,0
Plástico	0,22	1,3	6,8 ^a	14,69	30,36	37,0	43,0	..	..	..	..
Madera ^a	..	210,0	337,3	374,3	404,2	423,7	..	441,0	442,0	447,0	..
Cemento	66,2	133,0	314,2	430,5	578,0	702,0	727,0	..	..	711,0	806,0

^aLa madera en millones de metros cúbicos.

CUADRO 2. ÍNDICES DE AUMENTO DEL CONSUMO MUNDIAL DE LOS PRINCIPALES MATERIALES ESTRUCTURALES

Materiales	1977/1935	1970/1960	1977/1960	1977/1970	1980/1970
Aluminio	50,0	2,2	3,3	1,47	1,56
Cobre	5,0	1,5	1,8	1,18	1,24
Plomo	3,5	1,5	1,8	1,22	1,32
Estaño	1,2	1,0	1,3	1,35	1,09
Zinc	4,1	1,6	1,8	1,11	1,25
Acero	5,5	1,7	2,1	1,14	1,22
Plástico	195,5 ^a	4,4	6,3 ^b	1,42 ^c	..
Madera	..	1,2	1,3 ^d	1,05 ^e	1,10 ^f
Cemento	11,0 ^a	1,9	2,3 ^b	1,28 ^c	1,39

^a1976/1935.^b1976/1960.^c1976/1970.^d1975/1960.^e1975/1970.^f1979/1970.

petróleo esta tendencia se ha atenuado ligeramente, en comparación con otros materiales estructurales el consumo de aluminio sigue mostrando tasas de aumento sumamente elevadas.

Este crecimiento constante sin precedentes se basa en un alto nivel de investigación y experimentación sistemáticas en todo el mundo, fundadas, a su vez, en una eficaz cooperación entre productores y consumidores, independientemente del sistema económico o de la extensión de la industrialización de un país dado.

Con la ayuda de un conjunto de cálculos, se ha intentado hacer una previsión del consumo futuro de aluminio basada en los datos dados a conocer en estudios anteriores. Para ello, la primera medida consistió en comparar el consumo de los principales materiales estructurales con el PIB de varios países con diversos niveles de desarrollo económico.

A los fines del presente estudio, se han utilizado los países cuyo PIB por habitante se había comparado en un estudio especial realizado por el Instituto Húngaro de Planificación Eco-

nómica [2]. La relación PIB por habitante se ha utilizado en todo el trabajo como un índice de desarrollo económico*, en particular cuando se han de hacer comparaciones a través del tiempo, tomando los precios de 1970 como base. Para facilitar la comparación, los valores del PIB se han convertido en dólares de los Estados Unidos y se han rectificado. Las rectificaciones tienen en cuenta los tipos de cambio modificados y utilizan 43 índices medidos en unidades "naturales". El Instituto de Planificación Económica [2] efectuó asimismo esta correlación.

En los cálculos se han tomado en cuenta datos procedentes de 23 países industrializados, ocho países con economía de planificación centralizada y siete países en desarrollo: Argentina, Brasil, Chile, Egipto, India, México y Perú. El alcance es lo suficientemente amplio para poder llegar a conclusiones generales que sean útiles también a otros países.

Consumo de aluminio, 1937-1976

En el presente estudio, el consumo de aluminio se clasifica según la nomenclatura del Centro Internacional de Desarrollo del Aluminio (CIDA) adoptada por los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) en 1973. Las principales divisiones de la clasificación son las siguientes:

- Consumo interno de aluminio primario
- Consumo interno de aluminio secundario
- Consumo interno de semimanufacturas importadas

El consumo correspondiente a las citadas divisiones, por supuesto, no incluye las exportaciones de semimanufacturas. En nuevos datos

*La relación del producto nacional bruto (PNB) por habitante puede también utilizarse como un índice de desarrollo económico, pero plantea ciertas dificultades al comparar los países industrializados con los países en desarrollo.

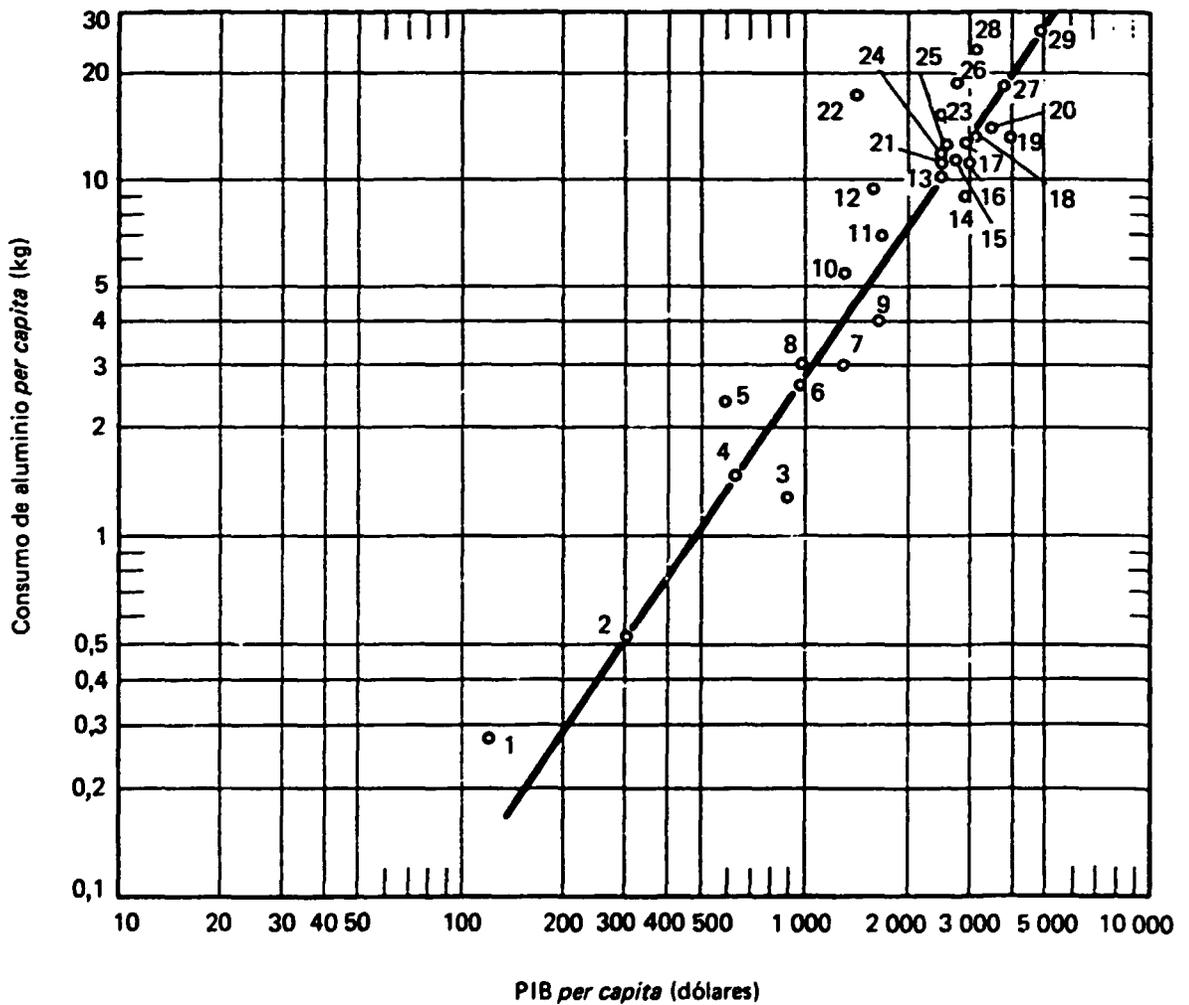
estadísticos más detallados, las exportaciones de semimanufacturas figuran en un renglón separado, lo que permite conocer directamente el consumo interno de aluminio. Sin embargo, no siempre se dispone de esas estadísticas detalladas y las cifras globales comunicadas suelen incluir también las exportaciones de semimanufacturas. En vista de ello, estas cifras se han aceptado como válidas para su inclusión en los cuadros y en los cálculos que se presentan en este trabajo. Esos datos incompletos, no obstante, no influyen de manera significativa en los cálculos de las tendencias; al

utilizarse un gran número de datos, los pequeños márgenes de error se suelen compensar.

En la figura I, el consumo de aluminio por habitante en 1976 de los 29 países elegidos se compara con su PIB por habitante. 1976 puede considerarse como un año más o menos estable desde el punto de vista del consumo de aluminio. Durante ese año no surgió ningún nuevo mercado del aluminio que requiriese un gran tonelaje.

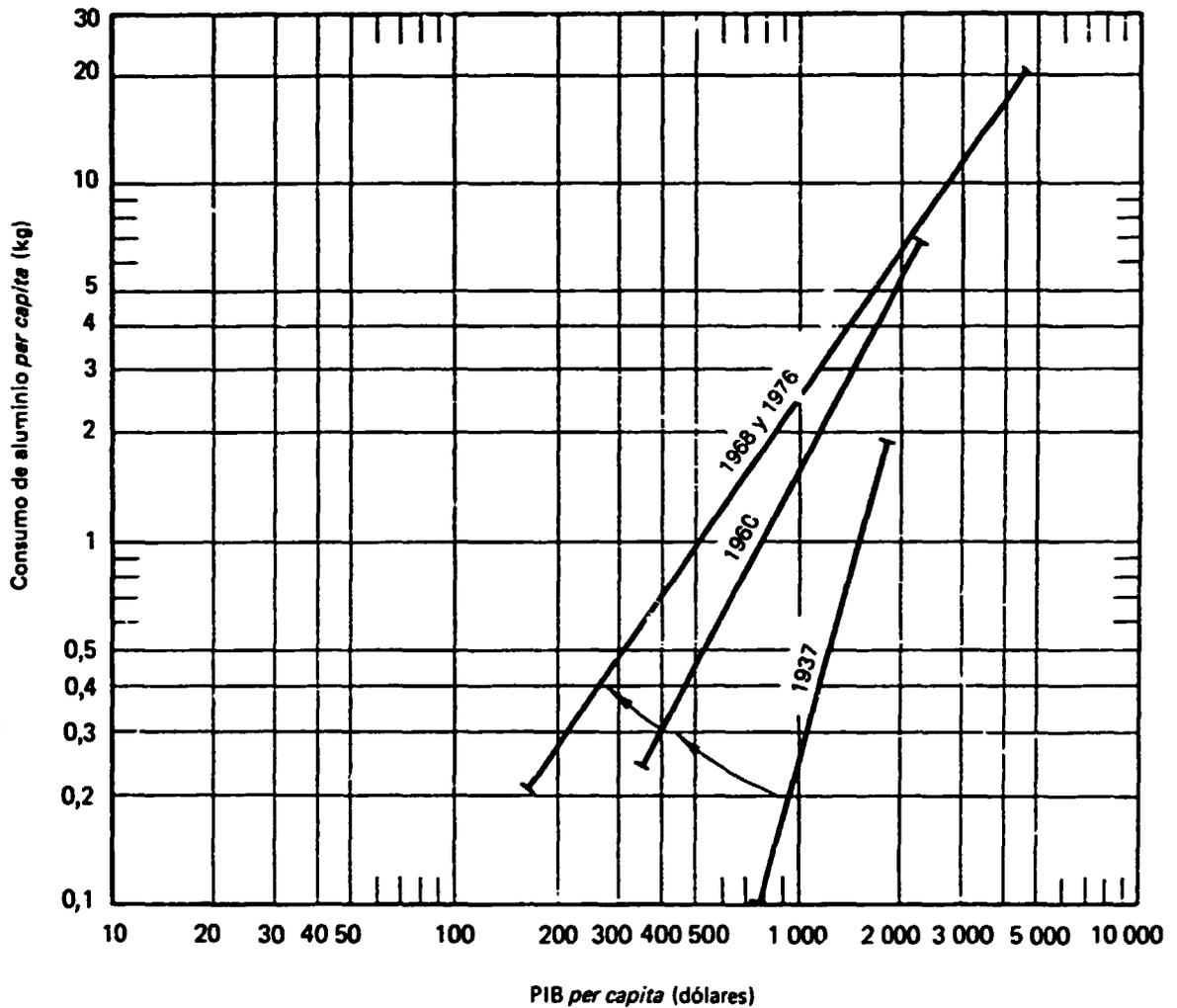
A lo largo del período 1937-1968, la situación fue completamente distinta. En la figura II, las curvas de comparación del consumo con el PIB

Figura I. Consumo de aluminio per capita en 29 países con relación a su PIB per capita, 1976



- | | | | | |
|--------|-------------|------------------|-----------------|----------------------------------|
| Clave: | 1 India | 9 Irlanda | 17 Reino Unido | 25 Suiza |
| | 2 Egipto | 10 España | 18 Países Bajos | 26 República Federal de Alemania |
| | 3 Portugal | 11 Israel | 19 Canadá | 27 Suecia |
| | 4 México | 12 Italia | 20 Australia | 28 Noruega |
| | 5 Brasil | 13 Austria | 21 Francia | 29 Estados Unidos |
| | 6 Sudáfrica | 14 Nueva Zelanda | 22 Hungría | |
| | 7 Argentina | 15 Bélgica | 23 Japon | |
| | 8 Grecia | 16 Dinamarca | 24 Finlandia | |

Figura II. Curvas de consumo de aluminio con respecto al PIB en 29 países, 1937, 1960, 1968 y 1976



correspondientes a cuatro años característicos se representan en un único gráfico, con el fin de posibilitar la comparación de las tendencias del crecimiento a largo plazo. Por encima de un nivel determinado de desarrollo económico, el consumo *per capita* a largo plazo sigue aumentando. Por ejemplo, a un PIB de \$500 por habitante, el consumo de aluminio *per capita* pasó de 0,5 kg en 1965 a 1 kg en 1968. La curva correspondiente a 1968 coincide con la de 1976, lo que hace pensar que ya no se preveía un nuevo aumento a menos que el precio relativo del aluminio se redujera considerablemente o que se descubrieran varias nuevas utilidades del aluminio que requiriesen una gran densidad de volumen.

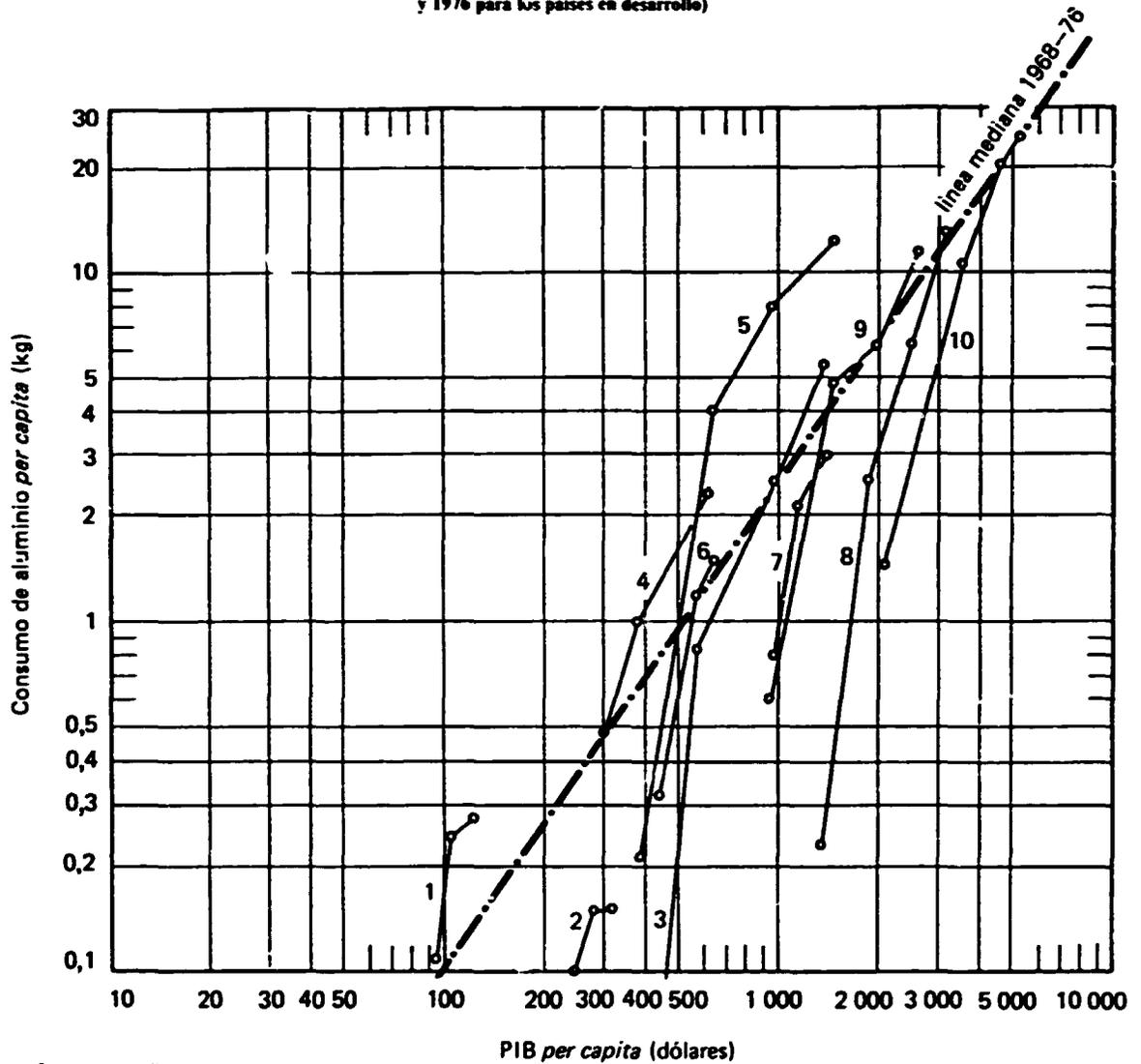
En la figura III se representa el aumento del consumo de aluminio en los 10 países indicados. En este gráfico las líneas conectan puntos que representan cada uno de los cuatro años objeto del estudio (1937, 1960, 1968 y 1976). La línea

correspondiente a cada país tiende hacia la mediana en 1968 y 1976. Por supuesto, no cabe prever una convergencia total en la línea mediana debido a las fluctuaciones anuales de los datos. Con todo, la amplitud de las fluctuaciones se ha estrechado visiblemente en el pasado y se prevé que la tendencia hacia la convergencia persistirá en el futuro.

En el cuadro 3 se indican numéricamente unos pocos puntos de la línea mediana de la figura III para demostrar que el consumo de aluminio tiende a aumentar mucho más rápidamente que el PIB. La mayor rapidez viene indicada por la inclinación de la línea en la figura III, denominada coeficiente de elasticidad, que es 1,43.

Por consiguiente, si se conocen las tendencias futuras del PIB o del PNB, se podrán prever las tendencias del consumo de aluminio. Para los

Figura III. Consumo de aluminio en 10 países, en diversos años (1937, 1960, 1968 y 1976 para los países industrializados, y 1960, 1968 y 1976 para los países en desarrollo)



- Clave: 1 India 6 México
 2 Egipto 7 Argentina
 3 España 8 Países Bajos
 4 Brasil 9 Francia
 5 Hungría 10 Estados Unidos

países que están situados en el gráfico de la figura III por debajo de la línea mediana, se aconseja el empleo de un coeficiente de elasticidad superior, y

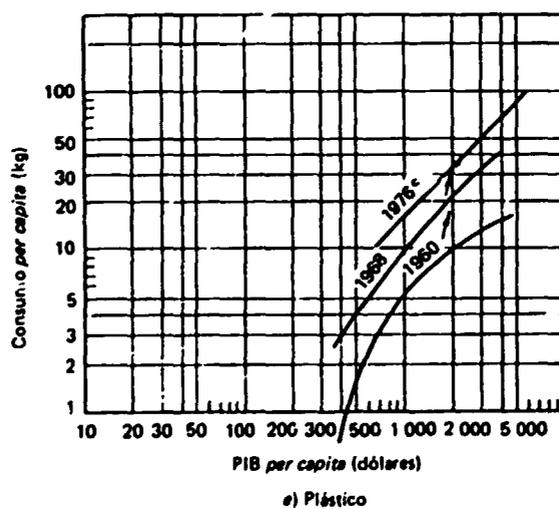
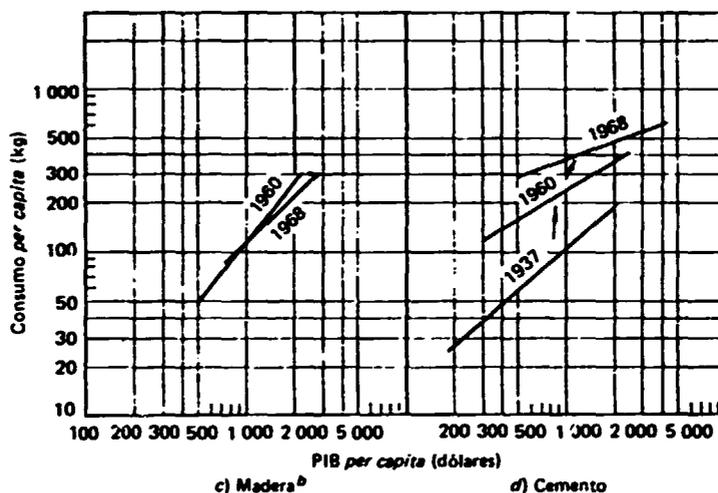
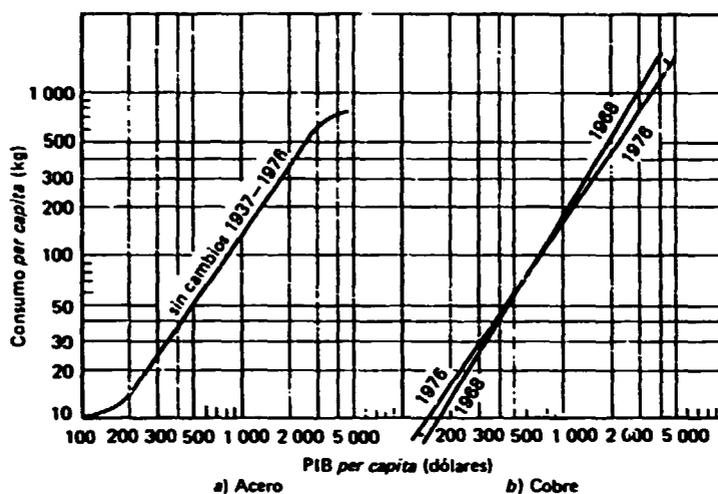
para los situados por encima de la línea mediana, el empleo de un coeficiente inferior. Dado por supuesto un crecimiento económico normal, en ambos casos las posiciones relativas tenderán a converger.

CUADRO 3. PIB PER CAPITA EN RELACIÓN CON EL CONSUMO DE ALUMINIO

PIB per capita (dólares EE.UU.)	Consumo de aluminio (kg)	
	Per capita	Por 1000 \$ EE.UU. de PIB
300	0,50	1,66
500	1,00	2,00
1 000	2,6	2,6
2 000	6,75	3,38
4 000	17,5	4,38

Consumo de otros materiales estructurales

En la figura IV se comparan el consumo per capita de acero, cobre, madera, cemento y plástico con el PIB per capita en 29 países con respecto a varios años. A continuación se examina cada uno de esos materiales.

Figura IV. Consumo per capita y PIB per capita de algunos materiales estructurales en 29 países^a, diversos años^aVéase la clave de la figura I^bCon exclusión de los países desarrollados.^cCon exclusión de los países en desarrollo sobre los que no se dispone de datos.

Acero

A diferencia del aluminio, el acero se caracteriza porque las tendencias internacionales principales del consumo expresadas por la mediana no han cambiado desde 1937 (véase la figura IV a)). El consumo de acero tiende a mantener el ritmo tradicional con un coeficiente de elasticidad de 1,5 %, pese a que nuevos materiales competitivos como el aluminio y el plástico han invadido fuertemente su mercado. Las razones evidentes de esta estabilidad son los grandes volúmenes de acero consumidos en esferas donde existen pocas posibilidades de sustitución y los progresos técnicos en la industria siderúrgica [3].

Cobre

Sólo se dispone de datos sobre el consumo de cobre refinado para los años 1968 y 1976 (figura IV b)). De 1968 a 1978, la mediana del consumo de cobre se mantuvo aproximadamente al mismo nivel de 620 dólares por habitante. Cuando superó ese nivel (todos los países desarrollados y algunos países en desarrollo), el consumo de cobre por habitante se redujo a 1,5 kg, cifra que corresponde a la del consumo de acero.

En 1976 el consumo de aluminio por kg de cobre fue de 1,4-1,8 kg en los países desarrollados por término medio, de 6,2 kg en Hungría y de 15 kg en Noruega.

Hungría, con su consumo *per capita* de 2,1 kg, es uno de los más modestos consumidores de cobre del mundo. Ello se debe obviamente al consumo muy elevado de aluminio del país en relación con su desarrollo económico. Los países con un desarrollo económico semejante, en cambio, consumen aproximadamente 5 kg de cobre *per capita*.

Aunque el precio del aluminio constituye una ventaja en su competencia con el acero, en lo que se refiere al cobre la situación es la inversa. Para muchos usos finales el cobre puede ser sustituido por el aluminio. Una mayor invasión del mercado del cobre por el aluminio parece estar limitada en gran medida únicamente por consideraciones tecnológicas (por ejemplo, la flexibilidad del alambre eléctrico).

Madera

La mitad de la madera que se consume en el mundo se dedica a combustible y la otra mitad se utiliza para fines industriales. Un tercio de esta última es madera de construcción, el producto que aquí se está examinando. Únicamente se disponía de datos precisos para Europa correspondientes al período 1950-1970.

En el pasado los países más desarrollados consumían más madera de construcción que los menos desarrollados. En la actualidad, sin

embargo, el consumo por habitante de madera de construcción en los países desarrollados es posible que no siga aumentando, a pesar de la elevación constante del PIB *per capita*. Eso quizá se deba a que en el pasado la madera se utilizaba casi exclusivamente en las zonas donde se producía.

El acortamiento de las medianas y la inclinación de sus gradientes en la figura IV c) indican claramente que el consumo de madera en los países menos adelantados tiende a aproximarse al de los países más adelantados.

Cemento

Para el cemento (figura IV d)) se dispuso de numerosos datos correspondientes a 1937, muy pocos correspondientes a 1968 y ninguno correspondiente a 1976. En consecuencia, las medianas pueden ser menos precisas que las de los otros materiales.

A lo largo del período 1937-1968 las medianas tienden a alcanzar niveles cada vez más superiores, lo que revela unos gradientes cada vez más pronunciados. Consecuentemente, el consumo de cemento por habitante con relación al PIB tiene una fuerte tendencia a aumentar, y su coeficiente de elasticidad tiende a descender, por ejemplo, a \$100 *per capita* de 0,8 en 1937 a 0,3 en 1968.

Plástico

La mediana es cada año superior a la del año precedente. La mediana de 1960 es curva (figura IV e)). Por supuesto, no se dispuso de datos correspondientes a 1937, año en que la industria del plástico estaba todavía en su infancia. Tampoco se dispuso de datos de 1976 con respecto a los países en desarrollo.

Las medianas trazadas a partir de los datos disponibles en la figura IV e) apuntan, a un nivel constante de PIB por habitante, a una tendencia al aumento del consumo de plástico *per capita*, lo que implica que este fuerte material tiene una gran variedad de usos finales (situación inversa de la de la madera). El aumento del consumo de plástico, pese a que en algunas esferas concretas —fabricación de cables, paneles intercalados para aislar de los golpes, embalajes, etc.— es simultáneo y puede ser la consecuencia del consumo de aluminio, a veces puede influir también negativamente en la comercialización de este producto, por ejemplo, en la industria de la construcción, la industria de los vehículos de transportes y la fabricación de algunos bienes de consumo. A menudo es realmente difícil decir si las dos industrias son cooperantes o competidoras. Sin embargo, como la mediana del aluminio aumenta menos fuertemente que la del plástico, parecería que en los países industrializados el plástico tiende a ampliar cada día más sus mercados en detrimento del aluminio.

Previsiones

En el periodo que abarca los años 50, 60 y la mitad de los 70 se ha producido un crecimiento exponencial de la economía mundial. La población, la producción industrial y el consumo de materias primas mundiales han mostrado unas tendencias coherentes al crecimiento de carácter exponencial (véanse los cuadros 1 y 2). Entre las materias primas el aumento del consumo del metal aluminio ha sido particularmente espectacular, ya que entre 1950 y 1970 el aumento anual medio alcanzó el 9,7% a escala mundial.

Como resultado de la primera crisis del petróleo de 1973, el crecimiento dinámico de la economía mundial se interrumpió, lo que justifica parcialmente a los economistas que han abogado por una mayor moderación. *Limits of Growth* (los límites del crecimiento), un volumen de estudios preparado por el Club de Roma y editado en 1972, fue una de las publicaciones más conocidas de esta categoría. En vista de las predicciones del Club de Roma y de la evolución alarmante de la economía mundial, las Naciones Unidas asignaron a Wassily Leontief, el Premio Nobel de economía, la misión de elaborar un modelo coherente destinado a servir de instrumento para establecer un nuevo orden económico internacional. El profesor Leontief y sus colaboradores elaboraron sus ideas en un estudio global titulado *The Future of the World Economy* (el futuro de la economía mundial) [4]. Su hipótesis de partida era una disminución gradual en el futuro del aumento de la población mundial, especialmente en los países en desarrollo. Ello podía provocar una disminución del crecimiento de la producción industrial y la posibilidad de un aumento del consumo por habitante de bienes a escala mundial a un ritmo que no provocaría forzosamente el pronto agotamiento de los recursos de materias primas mundiales y que permitiría evitar también un desastre universal causado por la contaminación ambiental. Una administración razonable de los recursos energéticos y de materias primas, el mejoramiento y el aumento de la eficacia en la utilización de los recursos de materias primas y el reaprovechamiento intensivo de desechos parecen ser tareas fundamentales del desarrollo. Teniendo en cuenta cuanto antecede, se elaboró un modelo mundial, subdividido por regiones económicas, que daba la posibilidad de calcular el PIB y sus tasas de crecimiento.

Los cálculos de Leontief proporcionaron la base para efectuar previsiones sectoriales entre 1978 y 1980 para diversas materias primas y estructurales. Esas previsiones, en comparación con las anteriores, ponen de manifiesto tasas de incremento mucho más modestas para el período que se extiende hasta el año 2000.

M. F. Dowding, presidente de la British Metals Society, siguió pronto el ejemplo de Leontief y elaboró unas previsiones de consumo actualizadas específicamente referentes a metales y otros materiales estructurales [5]. Esas previsiones se han analizado sobre la base de los valores previstos del producto nacional bruto (PNB) (véanse los cuadros 4 y 5).

CUADRO 4. TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO ANUAL DEL PNB: PREVISIONES HASTA EL AÑO 2000
(Porcentaje)

Pais o asociación económica	1970-1985	1985-1990	1990-2000
Economías desarrolladas de mercado (con exclusión del Japón)	3.5-3.0	3.4-3.3	3.0-2.5
Economías de planificación centralizada	5.0	5.0	4.5
Japón	5.5	5.0	4.5
Países en desarrollo	7.5-6.0	6.5-5.7	5.5
Total mundial	4.7	4.4	4.2

Fuente: [5].

CUADRO 5. CONSUMO MUNDIAL DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES METÁLICOS MAS IMPORTANTES POR DÉCADAS HASTA EL AÑO 2000
(Millones de toneladas)

Material	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Acero	6 900.3	10 200	13 800
Aluminio	130.0	218	358
Cobre	82.5	136	206
Zinc	58.0	79	102
Plomo	48.0	50	61

Fuente: [5].

Teniendo presente los datos que figuran en el cuadro 4, Dowding preparó previsiones del consumo de los principales materiales estructurales metálicos (cuadro 5).

El consumo total bruto de aluminio primario y secundario se calculó detalladamente y se previó una tasa de aumento medio anual del 5% (véase el cuadro 6).

CUADRO 6. AUMENTO DEL CONSUMO MUNDIAL DE ALUMINIO POR TIPO DE ECONOMÍA, 1978-2000
(Millones de toneladas)

Tipo de economía	1978	1985	1990	2000
De mercado	15.7	22.0	28.3	46.0
De planificación centralizada	4.3	6.0	7.7	12.0
Total	20.0	28.0	36.0	58.0

Fuente: [5].

La clasificación del consumo de aluminio por grupos económicos se ha efectuado sobre la base de los cálculos de Dowding para un estudio de la ONUDI preparado en 1978 (véanse los cuadros 7 y 8) [6]. En los cálculos se redujeron aproximadamente por la mitad las tasas de aumento anuales previas (que entre los años 1960 y 1970 ascendieron a un 8-10%).

CUADRO 7. AUMENTO DEL CONSUMO MUNDIAL DE ALUMINIO POR GRUPOS ECONÓMICOS, 1978-2000

(Millones de toneladas)

Grupos económicos	1978	1985	1990	2000
Países en desarrollo	1,2	3,0	4,8	10,0
Economías de planificación centralizada ^a	4,3	6,0	7,7	12,0
Economías desarrolladas de mercado	14,5	19,0	23,5	36,0
Total ^b	20,0	28,0	36,0	58,0

Fuente: [6].

^aCon inclusión de China.

^bValor bruto incluido el aluminio secundario.

CUADRO 8. PREVISIÓN DE LAS TASAS DE AUMENTO ANUAL DEL CONSUMO DE ALUMINIO

(Porcentaje)

Grupos económicos	1978-1985	1986-1990	1991-2000
Países en desarrollo	14,0	10,0	8,6
Economías de planificación centralizada ^a	4,9	5,1	4,8
Economías desarrolladas de mercado	3,9	4,5	3,9
Promedio mundial	5,0	5,1	5,1

Fuente: A partir de las cifras del cuadro 7.

^aIncluida China.

Parece sumamente probable que la parte de los países en desarrollo en la producción y el consumo de aluminio aumentará considerablemente en los próximos años. Según S. Moment [7], en el período 1975-1985, la producción de aluminio en las economías desarrolladas de mercado es de prever que se duplique, pasando, aproximadamente, de 9,1 millones de toneladas a 19 millones de toneladas. Durante el mismo período las capacidades de fundición de aluminio de los países en desarrollo se prevé que se quintuplicarán, aumentando de 0,8 millones de toneladas a 4 millones de toneladas al año. La realidad de esta previsión parece estar confirmada por los datos contemporáneos de que se dispone, que se indican a continuación.

Año	Capacidad (miles de toneladas)
1960 [8]	88,6
1970 [8]	538,2
1975 [7]	842
1977 [9]	1 104
1978 [9]	1 318
1985 [7]	4 000
2000 (estimaciones)	7 000-9 000

En 1985 la parte de los países en desarrollo en la capacidad de fundición del aluminio mundial puede alcanzar el 17% de la capacidad de fundición mundial total instalada. En esas circunstancias, la meta sugerida en la Segunda Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, celebrada en Lima, Perú, en marzo de 1975, de que al final del siglo los países en desarrollo representarían el 25% de la producción industrial mundial total parece representar un porcentaje totalmente adecuado que está al alcance de los países en desarrollo en lo que respecta a la participación en la capacidad de fundición de aluminio mundial [10].

La segunda "explosión" de los precios del petróleo y la consiguiente recesión pusieron en tela de juicio la realidad de las previsiones que se habían preparado en la segunda mitad del decenio de 1970. Las estimaciones de las tasas de aumento globales y de los valores relativos de los materiales estructurales y, consecuentemente, de su posibilidad de sustituirse recíprocamente resultaban dudosas. Simultáneamente se puso también de manifiesto que el futuro económico de los países en desarrollo no sería tan uniforme como se había supuesto previamente. Hizo su aparición un grupo de países en desarrollo "prósperos", constituido principalmente por países de América Latina. Además de recursos naturales, este grupo de países contaba también con una mano de obra calificada, condición esencial para el desarrollo. En los países con ingresos extremadamente bajos, sin embargo, las metas del desarrollo agrícola e industrial no se podían alcanzar ni siquiera si se dispusiera en cantidad más o menos suficiente de recursos naturales. La falta de personal calificado era el principal obstáculo.

Entre las previsiones económicas recientes cabe mencionar las de *Interfutures* [11] y un informe preparado para el Presidente de los Estados Unidos (1980) [12]. Los datos relativos al PNB de este último informe se resumen en el cuadro 9. Todas las previsiones relativas a la demanda futura de materiales estructurales y aluminio coinciden en que existe una correlación entre el PNB y el consumo de algunos de estos materiales. Según previsiones más recientes, el cociente de elasticidad del PNB y el aumento del consumo de aluminio tiene una tendencia general a disminuir y se está diferenciando cada vez más

por regiones económicas. En lo que respecta a los países industrialmente desarrollados este cociente, que era de 1,2 a 1,3, se reducirá para el año 2000 a entre 0,9 y 1,0. El cociente previsto será de 1,3 a 1,4 para América Latina [13]; 1,4 a 1,5 para los países menos adelantados, y 1,0 para las economías de planificación centralizada.

El modelo, que se publicó con motivo del Segundo Simposio Internacional sobre la Tecnología de Transformación del Aluminio y sus Aplicaciones, Buenos Aires, agosto de 1981 [14], se basa en parte en fuentes publicadas [11] y [12] y en parte en documentos no publicados de W. Leontief. Este modelo estudia el consumo de los principales metales estructurales hasta el año 2000. El autor calcula que el consumo mundial total de aluminio primario será de 32 a 33 millones de toneladas en el año 2000, si se mantienen las actuales condiciones tecnológicas. Si se expande en todo el mundo la reutilización del aluminio, se podría ahorrar una gran cantidad de materiales y energía y el consumo mundial de aluminio primario podría reducirse para fines del

presente siglo a unos 27 millones de toneladas. Se ha calculado también la tasa prevista de aumento en lo que respecta al acero, al cobre, al plomo y al titanio. La reducción de las estimaciones de consumo puede derivar de la evolución tecnológica y de la reutilización.

En el cuadro 10 y en las figuras V y VI se presentan las conclusiones finales de estos cálculos relativos a los metales primarios. Las cifras de consumo dadas con respecto a los metales prima-

CUADRO 10. AUMENTO DEL CONSUMO MUNDIAL DE LOS PRINCIPALES METALES ESTRUCTURALES PRIMARIOS HASTA EL AÑO 2000

(Millones de toneladas)

Metal	1980	1990	2000
Aluminio	15,2	22	32
Cobre	9,6	13	17
Plomo	5,2	6	7
Acero	720,0	1 000	1 138

Fuente: [14].

CUADRO 9. PNB Y TASAS DE CRECIMIENTO, 1975, 1985 Y 2000

Grupos económicos, regiones o países	PNB, 1975 (miles de millones de dólares EE.UU., 1975)	Tasa de crecimiento		PNB proyectado, 1985 (miles de millones de dólares EE.UU. 1975)	Tasa de crecimiento		PNB proyectado, 2000 (miles de millones de dólares EE.UU., 1975)
		anual prevista 1975-1985 (porcentaje)			anual prevista, 1985-2000 (porcentaje)		
Todo el mundo	6 025	4,1	8 991	3,3	14 677		
<i>Grupos económicos</i>							
Países desarrollados	4 892	3,9	7 150	3,1	11 224		
Países en desarrollo	1 133	5,0	1 841	4,3	3 457		
Europa oriental y la URSS	996	3,3	1 371	2,8	2 060		
América del Norte, Europa occidental, Australia, Japón y Nueva Zelandia	3 844	4,0	5 691	3,1	8 996		
<i>Regiones</i>							
África	162	5,2	268	4,3	505		
Asia y Oceanía	697	4,6	1 097	4,2	2 023		
Europa							
oriental	330	3,3	454	2,8	682		
occidental	1 598	4,0	2 366	3,1	3 740		
América Latina	326	5,6	564	4,5	1 092		
<i>Países</i>							
Bangladesh	9	3,6	13	2,8	19		
Brasil	108	5,6	185	4,4	353		
China	286	3,8	413	3,8	718		
Egipto	12	5,6	20	4,4	38		
India	92	3,6	131	2,8	198		
Indonesia	24	6,4	45	5,4	99		
Japón	495	4,0	733	3,1	1 158		
México	71	5,6	122	4,4	233		
Nigeria	23	5,4	43	5,4	94		
Pakistán	10	3,6	14	2,8	21		
Filipinas	16	5,6	27	4,4	52		
República de Corea	19	5,6	32	4,4	61		
Tailandia	15	5,6	25	4,4	48		
URSS	666	3,3	917	2,8	1 377		
Estados Unidos	1 509	4,0	2 233	3,1	3 530		

Fuente: [12].

rios aumentarían en el volumen de los metales secundarios reutilizados a partir de la chatarra, que puede representar entre el 20 y el 30% del metal primario en lo que respecta al aluminio.

La figura VI, basada en las proyecciones de Varsavsky [14], y las previsiones preparadas por *Interfutures* [11] provocan cierta incertidumbre.

Además de la situación de la economía mundial, la demanda futura de materiales estructurales dependerá de condiciones desconocidas como el ritmo y la eficacia de la reutilización de la chatarra; los nuevos avances tecnológicos en la producción y la elaboración, especialmente en relación con su repercusión en las necesidades de

Figura V. Proyecciones del consumo mundial de varios metales primarios (índice relativo) [14]

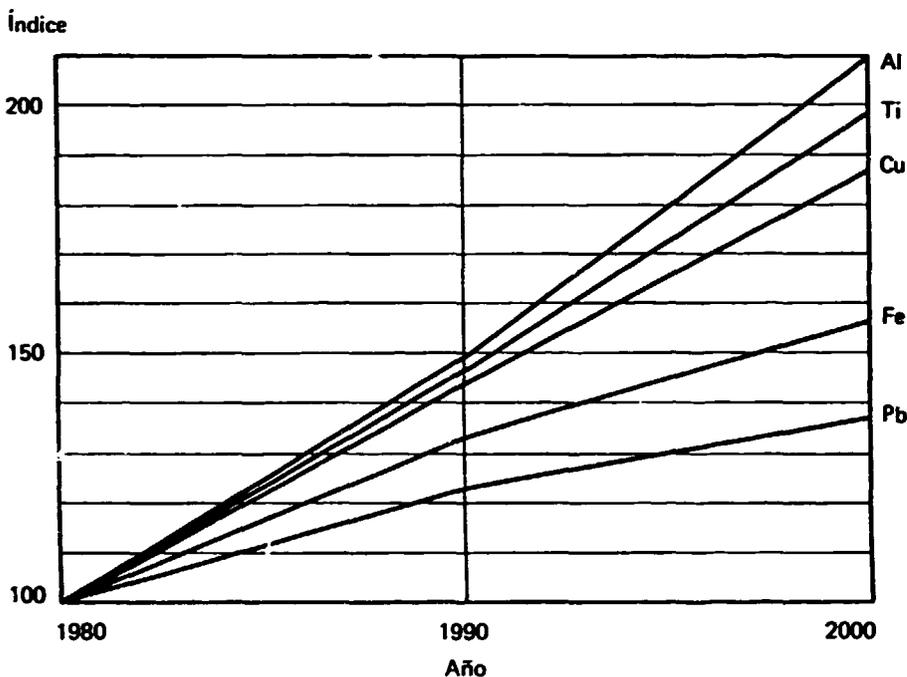
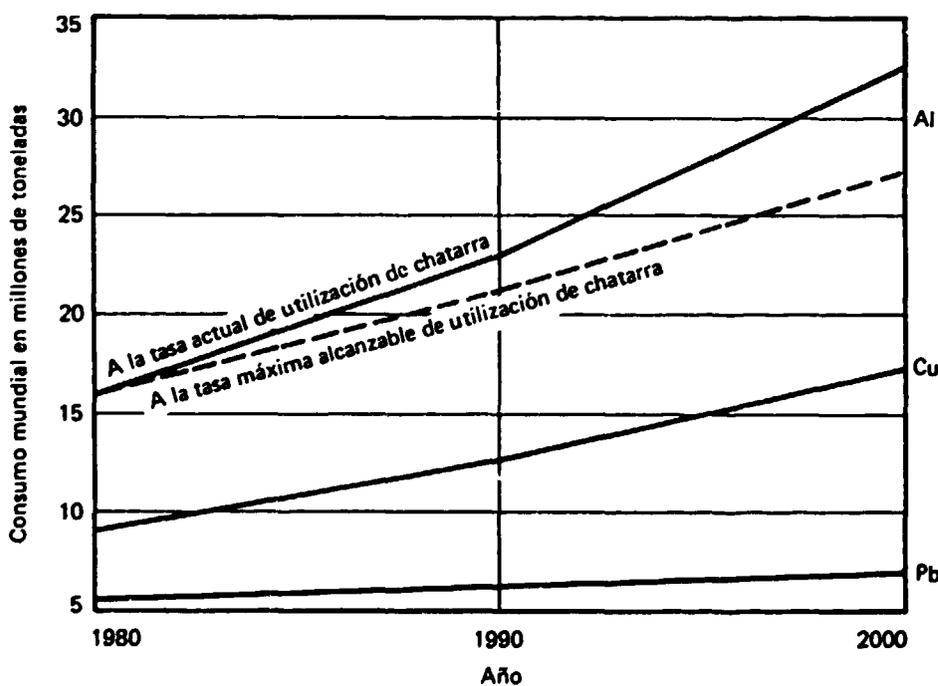


Figura VI. Proyecciones del consumo de algunos metales primarios no ferrosos [14]



capital y energía; las innovaciones, las características de calidad del producto y el ahorro de materiales; y, por último, las posibilidades de sustitución de los materiales.

Se preparó un modelo para prever el consumo bruto de aluminio, primario y secundario, con una división arbitraria por regiones económicas principales. En el cuadro 11 se indican los volúmenes brutos de consumo de aluminio y en el cuadro 12 las tasas de crecimiento anual correspondientes. El volumen de metal recuperado de chatarra en el año 2000 se calculó que representaría el 20% del metal primario, porcentaje similar al previsto por Varsavsky. En consecuencia, la demanda mundial de aluminio primario en el año 2000 se puede cifrar en unos 30 millones de toneladas, cantidad que corrobora también Kapolyi [15], cuyo análisis de las previsiones de los años 70 llegaba a la conclusión de que las tasas de crecimiento proyectadas tenían a decrecer.

La disminución de las tasas de aumento del consumo de aluminio se puede atribuir a los siguientes factores:

a) Los aumentos del crecimiento del PNB de los países desarrollados derivan principalmente de sectores industriales que no son grandes consumidores de aluminio, como la electrónica y las telecomunicaciones. En los países en desarrollo los programas de electrificación intensiva y su estructura industrial, semejante a la que tenían los

países desarrollados entre 1960 y 1970, dieron origen a una demanda específica de aluminio superior:

b) Los costos de las inversiones de capital para crear nuevas capacidades de producción de aluminio primario se están elevando constantemente debido a los incrementos de los costos de infraestructura y energía, el aumento del tamaño de la unidad de producción y las normas de lucha contra la contaminación;

c) Se están descubriendo pocos usos nuevos del aluminio, salvo en el transporte aéreo y los vehículos motorizados;

d) El alza del precio del aluminio en comparación con el de otros materiales estructurales, especialmente los aceros de aleación y algunos plásticos, ha provocado un cambio en detrimento del aluminio. A título de ejemplo: el precio del mercado mundial del aluminio en 1979 equivalió a 2,32 veces del de 1972; los precios del acero de aleación en 1979 equivalieron a 1,68 veces de los de 1972.

En el cuadro 13 se indican las previsiones acerca del consumo mundial de acero y en el cuadro 14, los incrementos anuales correspondientes como porcentajes [16]. La estructura de estos cuadros y sus incertidumbres y posibilidades de error intrínsecas son análogas a las de los cuadros 11 y 12 sobre las previsiones relativas al consumo de aluminio.

CUADRO 11. CONSUMO BRUTO DE ALUMINIO PRIMARIO Y SECUNDARIO, 1970-2000

(Millones de toneladas)

Agrupación económica, región o país	1970	1975	1979	1980	1981 (estimaciones)	Previsiones		
						1985	1990	2000
Economías de mercado de Europa occidental	3,2	3,5	5,7	5,6	5,3	6,5	7,5	9,9
Japón	1,4	1,6	2,3	2,1	2,0	2,5	2,9	3,8
Estados Unidos	4,2	4,2	6,6	6,2	6,4	7,1	8,1	10,7
Otras economías de mercado	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,5	1,8
Total, economías de mercado desarrolladas	9,3	9,5	15,6	14,9	14,7	17,3	20,0	26,2
América Latina	0,2	0,4	0,6 ^a	0,7 ^b	0,7	1,0	1,3	2,1
Países productores de petróleo	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,8
Total, América Latina y países productores de petróleo	0,3	0,6	0,9	1,0	1,0	1,4	1,8	2,9
Países menos adelantados de Asia ^c , África ^d etc	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	1,7
Economías europeas de planificación centralizada ^e	1,7	2,6	3,0	3,1	3,0	3,6	4,2	5,5
China y otras economías de planificación centralizada ^e	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	1,1	1,8
Total, economías de planificación centralizada ^e	2,0	3,0	3,6	3,7	3,6	4,4	5,3	7,3
Total	11,9	13,5	20,7	20,2	19,9	23,9	28,1	38,1

^aSegundo Congreso del Aluminio del Metal Bulletin, Madrid, septiembre de 1980

^bAluminium, vol. 58, N.º 1 (1983) pág. 73.

^cCon exclusión de China y el Japón y los países productores de petróleo

^dCon exclusión de los países productores de petróleo y Sudáfrica

^eEstimaciones

CUADRO 12. AUMENTOS ANUALES MEDIOS DEL CONSUMO BRUTO DE ALUMINIO PRIMARIO Y SECUNDARIO
(Porcentaje)

Agrupación económica, región o país	1970-1975	1976-1980	1980-1985	1985-1990	1990-2000
Economías de mercado de Europa occidental	2,0	5,8	3,1	2,8	2,8
Japón	2,5	4,1	3,2	2,8	2,8
Estados Unidos	--	3,9	2,8	2,8	2,8
Otras economías de mercado desarrolladas	9,8	7,1	4,5	3,0	3,0
Promedio, economías de mercado desarrolladas	0,5	4,5	3,0	2,9	2,8
América Latina	14,5	13,0	7,2	5,4	4,8
Países productores de petróleo	14,5	11,8	5,2	4,8	4,7
Promedio, América Latina y países productores de petróleo	14,5	12,6	7,0	5,1	4,8
Países menos adelantados de Asia ^a , África ^b , etc.	6,0	7,0	6,0	5,3	5,8
Economías europeas de planificación centralizada	8,9	5,9	3,3	3,8	2,8
China y otras economías de planificación centralizada	6,0	7,0	5,0	5,0	5,0
Promedio, economía de planificación centralizada	8,5	6,4	3,5	3,7	3,8
Promedio general	2,5	5,5	3,4	3,4	3,7

^aCon exclusión de China y el Japón.

^bCon exclusión de los países productores de petróleo y Sudáfrica.

CUADRO 13. CONSUMO MUNDIAL DE ACERO, 1970-2000
(Millones de toneladas)

Agrupación económica, región o país	1970	1975	1979	1980	1981	Previsiones		
						1985	1990	2000
Economías de mercado de Europa occidental	120	120	150	130	128	130	130	140
Japón	80	90	109	100	90	95	105	115
Estados Unidos	120	108	120	100	108	120	125	140
Otras economías de mercado desarrolladas	36	52	60	60	54	55	60	65
Total, economías de mercado desarrolladas	356	370	410	390	380	400	420	460
América Latina	13	18	40	40	43	55	70	140
Países productores de petróleo	2	6	15	15	17	20	40	100
Total, América Latina y países productores de petróleo	15	24	55	55	60	70	110	240
Países menos adelantados de Asia ^a , África ^b , etc.	16	16	16	17	18	40	60	150
Economías europeas de planificación centralizada ^c	180	195	213	203	208	220	230	250
China y otras economías de planificación centralizada ^c	32	42	52	52	47	65	80	150
Total, economías de planificación centralizada ^c	212	237	265	255	255	285	310	400
Total	599	647	746	717	713	800	900	1 250

^aCon exclusión de China, el Japón y los países productores de petróleo.

^bCon exclusión de los países productores de petróleo y Sudáfrica.

^cEstimaciones.

En los cuadros 15 y 16 se comparan los porcentajes de consumo de aluminio y de acero de diversas agrupaciones económicas entre 1970 y 2000. La parte de los países desarrollados en el consumo del aluminio y del acero disminuye. El porcentaje de las economías de planificación centralizada se mantiene estable respecto del aluminio y se reduce en los últimos años respecto

del acero. El porcentaje de los países en desarrollo experimenta un espectacular aumento en lo que se refiere al acero y un aumento más modesto, pero igualmente considerable, en el aluminio. Los países menos adelantados muestran una evolución análoga a la de los países en desarrollo, pero a un nivel muy inferior. En resumen, en los países en desarrollo parece posible un incremento de la

CUADRO 14. AUMENTOS MEDIOS ANUALES DEL CONSUMO DE ACERO
(Porcentaje)

Agrupación económica, región o país	1970-1975	1970-1980	1980-1985	1985-1990	1990-2000
Economías de mercado de Europa occidental	--	1.0	--	--	1.5
Japón	2.3	2.1	1.0	2.0	1.9
Estados Unidos	2.1	1.5	3.5	0.8	1.1
Otras economías de mercado desarrolladas	7.0	5.0	1.7	1.7	1.6
Promedio, economías de mercado desarrolladas	0.8	1.0	0.5	1.0	1.8
América Latina	6.4	11.0	6.4	4.8	13.3
Países productores de petróleo	20.0	22.0	5.7	13.3	17.1
Promedio, América Latina y países productores de petróleo	22.8	13.5	6.2	7.6	7.4
Países menos adelantados de Asia ^a , África ^b , etc.	--	1.0	5.7	8.0	17.1
Economías europeas de planificación centralizada	1.6	0.8	1.6	0.9	0.8
China y otras economías de planificación centralizada	5.0	5.0	4.6	4.1	6.0
Promedio, economías de planificación centralizada	2.2	1.8	2.2	1.7	2.5
Promedio general	1.5	1.8	2.1	2.4	3.2

^aCon exclusión de China y el Japón.

^bCon exclusión de los países productores de petróleo y Sudáfrica.

CUADRO 15. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO MUNDIAL DE ALUMINIO POR GRUPOS ECONÓMICOS, 1970-2000
(Porcentaje)

Grupo económico	1970	1980	1985	1990	2000
Economías de mercado desarrolladas	78	74	72	72	69
Países en desarrollo semiindustrializados	3	5	6	6	8
Países menos adelantados	3	3	3	3	4
Economías de planificación centralizada	16	18	19	19	19
Total	100	100	100	100	100

demanda de aluminio. No obstante, ello requerirá una comercialización bien organizada, servicios de información técnica y asesoramiento competentes y una transferencia eficiente de tecnología. Por añadidura, debe tenerse presente la intensificación de una fuerte competencia de los plásticos y de los aceros de aleación, que están hoy día haciendo los mismos progresos en un amplio frente que hizo el aluminio entre 1955 y 1970.

La clasificación estructural y sectorial del consumo de aluminio por regiones, o por países, depende de la situación económica general y de las estructuras de las industrias nacionales. Es tentador recurrir a análisis comparativos de los usos finales del aluminio por regiones en la preparación de previsiones detalladas. Sin embargo, debido a la falta de datos suficientes y a la naturaleza complicada y cambiante de las moda-

lidades económicas, sólo es posible prever algunas tendencias fundamentales. Cabe deducir de ello las conclusiones generales siguientes:

a) Los cuatro grupos económicos principales manifiestan distintas modalidades de usos finales. En las economías de mercado desarrolladas la mayor parte del consumo se concentra en el transporte, la construcción y el embalaje. En los países en desarrollo semiindustrializados desempeñan un gran papel las industrias eléctricas, los utensilios domésticos muestran una disminución y la fabricación de medios de transporte, un aumento; el envasado (cuando existen industrias de alimentos) y la construcción (según el clima del país) pueden tener también posibilidades de crecimiento. El grueso del consumo de aluminio en los países menos adelantados se concentra en los sectores de artículos domésticos e industrias eléctricas. En las economías de planificación centra-

CUADRO 16. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO MUNDIAL DE ACERO POR GRUPOS ECONÓMICOS, 1970-2000
(Porcentaje)

Grupo económico	1970	1980	1985	1990	2000
Economías de mercado desarrolladas	60	54	50	47	37
Países en desarrollo semiindustrializados	2	8	9	12	20
Países menos adelantados	2	2	5	6	12
Economías de planificación centralizada	36	36	36	35	31
Total	100	100	100	100	100

lizada (independientemente de sus niveles respectivos de desarrollo industrial), cuando el mercado no está saturado, la ingeniería eléctrica es el principal consumidor civil:

b) Como resultado del desarrollo industrial mundial parece probable que en todos los grupos principales de clasificación económica la distribución entre los usos finales se vaya acercando paulatinamente a la distribución actual en las economías de mercado desarrolladas;

c) La demanda mundial de productos semimanufacturados especiales de aluminio altamente elaborados está aumentando y, consecuentemente, la línea divisoria entre productos semimanufacturados y productos acabados de aluminio se hace cada vez más borrosa. Este fenómeno se manifiesta en algunos países desarrollados con escasa población en los que un fuerte incremento de la parte de los productos semimanufacturados exportada puede pasar del 50% de la producción total. Las plantas y los talleres de montaje para el uso de estos productos se multiplican rápidamente en los países en desarrollo:

d) Es poco probable que en los próximos 20 años aparezcan nuevos productos para uso civil que consuman cantidades importantes de aluminio, ni siquiera en los países desarrollados. Esta afirmación parece confirmada por el caso de Italia [17], tal como se presenta en el cuadro 17;

e) Algunas observaciones anteriores siguen siendo válidas [6]. En los países desarrollados la necesidad de ahorrar energía impondrá un aumento del consumo de aluminio en los vehículos de transporte, las industrias eléctricas, la producción de permutadores y recipientes térmicos, la producción en masa de algunos componentes de máquinas y la producción de artículos de deportes y para vacaciones. Sin embargo, el crecimiento del consumo de aluminio para la construcción y el envasado se detendrá. En este período inicial de desarrollo de los países en desarrollo y semi-

industrializados, el uso del aluminio en las industrias eléctricas, en algunos casos el uso generalizado de artículos de envasar fabricados con aluminio (por ejemplo, para el pescado, los elaborados de leche y otros productos en lata) y el establecimiento de industrias para fabricar productos para el hogar desempeñan un papel importante. Se desarrollarán también otros sectores consumidores de aluminio, en función de la economía del país. La agricultura necesita plantas modernas para el almacenamiento en frío, instalaciones de riego, plantas de desalinización y estructuras prefabricadas de edificación. Los componentes para vehículos y máquinas aparecen primero en las plantas de montaje. Más tarde se fabrican en instalaciones de producción separadas, como fundiciones de moldes de alta calidad;

f) Paralelamente al desarrollo del procesamiento del aluminio, empezaría la reutilización de la chatarra de aluminio. Para la producción de aluminio se puede utilizar entre el 21% y el 26% de chatarra.

En el cuadro 18 se resume el consumo de aluminio por usos finales en unos cuantos países característicos y en los países desarrollados con economía de mercado de Europa.

En el consumo de aluminio siempre repercutirá la competencia de otros materiales. En la figura VII se indican el crecimiento pasado de la producción de aluminio y cuatro posibilidades de evolución en el futuro.

Fijación de precios

En los cuadros 19 y 20 se indican los precios del mercado mundial de los principales materiales estructurales y su relación con el del aluminio en el período 1935-1981. Desde el final de la Segunda Guerra Mundial se ha producido un marcado cambio en favor del aluminio y en detrimento del cobre y el acero. El alza de 1973 de los precios del petróleo no influyó significativamente en los precios relativos de los metales y las fluctuaciones de los precios del aluminio y del cobre se debieron en gran medida a una especulación transitoria del mercado. Ni siquiera el segundo gran aumento de los precios del petróleo y la recesión resultante pudieron influir en la mayor parte de las relaciones entre los precios (con excepción de los de algunos tipos de acero de aleación y de plásticos). Recientemente algunas mejoras fundamentales de la tecnología de producción han ocasionado un cambio importante de los precios, en detrimento del aluminio [19]. Como consecuencia de ello, sectores como las industrias de alimentos y la maquinaria para las industrias químicas registraron un descenso de la demanda de aluminio, y se ha producido un aumento en el uso de acero

CUADRO 17. CONSUMO DE ALUMINIO POR SECTOR INDUSTRIAL EN ITALIA, 1977 Y 2000

(Porcentaje)

Sector	1977	2000 (estimaciones)
Vehículos de transporte	27	30
Ingeniería mecánica	8	5
Ingeniería eléctrica	5	10
Edificación y construcción	18	25
Envasado	8	5
Artículos domésticos y otros productos fabricados	11	10
Varios	23	15
Total	100	100

Fuente [17].

CUADRO 18. USO DEL ALUMINIO, POR SECTOR, EN LAS ECONOMÍAS EUROPEAS DE MERCADO Y EN VARIOS OTROS PAÍSES

Sector	Economías europeas de mercado, 1979 ^a		Argentina, 1978 ^b		Brasil, 1980 ^c		Egipto, 1980 ^d		Hungría, 1976 ^e		India, 1979 ^f		Japón, 1979 ^g		Sudáfrica, 1980 ^h		Estados Unidos, 1977 ^g	
	Miles de toneladas	Porcentaje	Miles de toneladas	Porcentaje	Miles de toneladas	Porcentaje	Miles de toneladas	Porcentaje ^h	Miles de toneladas	Porcentaje	Miles de toneladas	Porcentaje	Miles de toneladas	Porcentaje	Miles de toneladas	Porcentaje	Miles de toneladas	Porcentaje
Transporte	1 137	20,0	9,0	13,0	67,7	19,2	1,2	4,0	14,7	7,9	31,0	10,0	505	21,2	3,9	7,0	1 368	22,6
Ingeniería general	286	5,1	28	4,0	14,5	4,1	--	--	12,8	6,8	--	--	424	17,8	--	--	356	5,9
Ingeniería eléctrica	443	7,9	19,3	27,9	75,9	21,5	5,9	19,5	32,4	17,5	170,5	55,0	257	10,8	16,4	29,3	592	9,8
Edificación y construcción	764	13,6	13,8	19,9	84,1	23,8	9,0	30,0	18,5	9,9	15,5	5,0	781	32,8	7,8	14,0	1 381	22,8
Productos químicos, alimentos y aperos agrícolas	68	1,2	9,7	14,0	28,6	8,1	--	--	4,4	2,4	--	--	125	5,2	10,0	17,9	81	1,3
Envasado	410	7,3	--	--	--	--	0,3	1,0	10,1	5,4	12,4	4,0	--	--	--	--	1 278	21,1
Aparatos domésticos y de oficina	355	6,3	4,1	5,9	51,5	14,6	13,6	45,5	5,4	2,7	62,0	20,0	47	2,0	8,4	15,0	415	6,9
Industrias consumidoras de polvo	30	0,5	--	--	--	--	--	--	5,0	2,7	--	--	--	--	3,3	5,9	48	0,8
Industrias siderúrgicas	203	3,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	110	1,8
Industrias del metal no especificadas en otra parte	504	8,9	2,0	2,9	30,7	8,7	--	--	27,3	14,6	18,6	6,0	137	5,7	6,2	11,1	180	3,0
Varios	--	--	--	--	--	--	--	--	14,7	7,9	--	--	--	--	--	--	--	--
Exportación de semimanufacturas, láminas, polvo para cables	1 433	3,9	8,5	12,3	--	--	--	--	41,7	22,3	--	--	108	4,5	--	--	238	3,9
Total	5 633	100,0	69,2	100,0	353,0	100,0	30,0	100,0	187,0	100,0	310,0	100,0	2 384	100,0	56,0	100,0	5 633	100,0

^aEstadísticas europeas del aluminio, 1979.

^b*Aluminium*, vol. 58, No. 1 (1982), pág. 68.

^c*Ibid.*, pág. 71.

^d*Ibid.*, pág. 45.

^e*Magyar Aluminium*, No. 18, 1981, pág. 215.

^f*Aluminium*, *op. cit.*, pág. 50.

^gDatos estadísticos del NIMDOK, Budapest, 1981.

^hSólo semimanufacturas.

CUADRO 19. PRECIOS MEDIOS MUNDIALES DE DETERMINADOS MATERIALES ESTRUCTURALES, 1935-1981

(Dólares por tonelada)

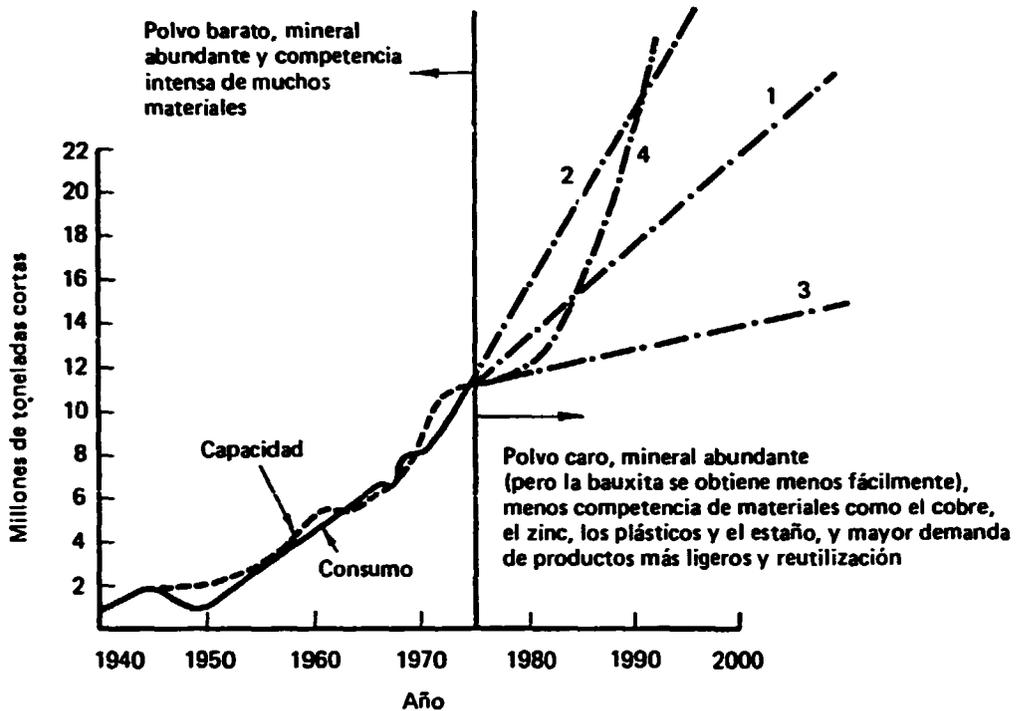
Materia	1935	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Aluminio ^a	482	370	500	577	545	614	860	969	1 108	1 167	1 398	1 714	1 750
Cobre ^b	172	472	500	712	780	1 393	1 205	1 381	1 293	1 358	1 945	2 167	1 584
Plomo	69	300	332	265	260	304	446	446	617	--	1 202	937	639
Zinc	68	210	273	287	320	296	745	711	589	--	743	747	804
Estaño	1 090	--	--	--	3 428	3 673	6 870	7 583	10 789	17 000	15 462	17 158	13 889
Chapa de hierro estañado	--	--	--	--	--	--	487	480	571	605	665 ^c	793 ^c	764 ^c
Varas de acero	34	65	--	--	--	93	173	168	154	220	311 ^d	324 ^d	293 ^d
Cloruro de polivinilo ^e	--	--	--	350	351	359	642	566	619	650	825	680	550
Cemento	--	6	--	7	8	120	20	--	25	29 ^f	31 ^f	34 ^f	..

^aPrecio medio de la ALCAN.^bCobre catódico.^cEstimación.^dMetal Bulletin, precio medio.^ePrecio medio en la República Federal de Alemania.^fPrecios medios en Francia e Italia.

CUADRO 20. PRECIOS MUNDIALES RELATIVOS DE DETERMINADOS MATERIALES ESTRUCTURALES, 1935-1981

(Índice relativo al precio medio del aluminio)

Materia	1935	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Aluminio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cobre	36	128	100	123	143	277	140	142	117	116	139	126	91
Plomo	14	81	66	46	48	50	52	46	56	--	86	55	37
Zinc	14	57	55	50	59	48	87	73	53	--	53	44	46
Estaño	226	--	--	--	529	598	799	782	974	1 456	1 106	1 001	754
Chapa de hierro estañado	--	--	--	--	--	--	57	49	51	52	48	46	44
Varas de acero	7	18	--	--	--	15	20	17	14	19	24	19	17
Elásticos	--	--	--	61	64	58	75	58	56	56	59	40	31
Cemento	--	2	--	1,2	1,5	1,6	2,3	--	2,2	2,5	2,2	2,0	..

Figura VII. Crecimiento mundial^a de la industria del aluminio, 1940-1975, y crecimiento previsto, 1975-2000 [18]

Clave:

- 1 Tasa de crecimiento similar a la de 1940-1975.
- 2 El aluminio se utiliza para sustituir al cobre, al zinc y a los plásticos.
- 3 La capacidad de fundición insuficiente y la elevación de los precios de la energía tienen una marcada repercusión en los sectores de la edificación, los vehículos de transporte y la ingeniería eléctrica.
- 4 Se emplea más el aluminio para sustituir a otros materiales estructurales, pero la demanda excedentaria se ha de satisfacer con las capacidades de fundición disponibles. Las nuevas capacidades de fundición que se prevé se pondrán en servicio a mediados de los 80 para satisfacer esa demanda adicional se calcula que abarcan nuevas tecnologías basadas en materias primas distintas de la bauxita.

^aCon exclusión de China y la URSS.

inoxidable para la fabricación de vehículos de transporte. La fluctuación temporal de 1981 se puede observar en la gran diferencia del precio medio de la Compañía Canadiense del Aluminio (ALCAN) y la cotización libre en la Bolsa de Londres.

Las previsiones publicadas coinciden en que el nivel de 1970 de los precios relativos de los materiales estructurales se mantendrá, aunque se pronostica una elevación de los precios para después de 1983. Los aumentos de los precios se consideran necesarios para la viabilidad económica de nuevas capacidades que se están poniendo en explotación para satisfacer el aumento de la demanda. La magnitud de los aumentos dependerá de los costos efectivos de la energía y el capital. Las ventajas adquiridas debido a los ahorros

como resultado de los bajos precios de la energía en algunos de los países en desarrollo pueden verse comprometidas por los costos más elevados del capital con respecto a la construcción de fundiciones [14]. Se prevé un aumento anual medio de un 3% a un 5% de los precios del aluminio. La aparición en los países en desarrollo de nuevas fundiciones que utilizan energía barata impedirá que los aumentos medios sean más elevados. Los precios excesivos del aluminio pueden fácilmente inducir a su sustitución por otros materiales. Parece probable que la mayor parte de los nuevos incrementos del consumo del aluminio se limitarán a unos pocos sectores en los que la aplicación del aluminio produce una ventaja económica, como la ingeniería eléctrica, los vehículos de transporte y el envasado.

Referencias

1. E. Muraközi, "Correlation of aluminium consumption and economic development after the price explosion", *Magyar Aluminium* (Budapest), vol. 16, No. 1 (1979), págs. 19-26.
2. E. Ehrlich y colaboradores, "Levels, proportions and patterns of economic development" (Budapest, Instituto de Planificación Económica, 1977), manuscrito no publicado.
3. "The competition of steel and aluminium" (E/ECE/184, 1954).
4. W. Leontief y colaboradores, *The Future of the World Economy: A United Nations Study* (Nueva York, Oxford University Press, 1977).
5. M. F. Dowding, "The world of metals", *Metals and Materials* (Londres), No. 7, 1978, pág. 27.
6. A. Bokor, A. B. Domony e I. Varga, "The economic use of aluminium (based on Hungarian experience)" (UNIDO/IOD.335, 1979).
7. S. Moment, "Long-term associations of developing countries with consumers of bauxite, alumina and aluminium". Documento presentado en el Seminario para altos funcionarios de los sectores público y privado sobre la bauxita, la alúmina y el aluminio: análisis de la demanda para la adopción de decisiones en el campo del desarrollo industrial, Budapest, Hungría, 3-12 mayo 1978 (ID/WG.273/7).
8. S. R. Spector, "Short, medium and long-range trends in aluminium supply/demand". Documento presentado en el Seminario para altos funcionarios de los sectores público y privado sobre la bauxita, la alúmina y el aluminio: análisis de la demanda para la adopción de decisiones en el campo del desarrollo industrial, Budapest, Hungría, 3-12 mayo 1978 (ID/WG.273/5).
9. "Aluminium smelter construction in developing countries". Documento preparado para el curso práctico sobre casos concretos de construcción de plantas de fundición de aluminio en países en desarrollo, Viena, Austria, 27-29 junio 1977 (ID/WG.250/5).
10. Informe del curso práctico sobre casos concretos de construcción de plantas de fundición de aluminio en países en desarrollo, Viena, Austria, 27-29 junio 1977 (ID/WG.250/18).
11. Interfutures, *Facing the Future* (Paris, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, 1979).
12. *The Global 2000 Report to the President: Entering the Twenty-First Century* (Washington, D.C., Government Printing Office, 1980), vol. 2.
13. F. Sacchi, "Annotations of papers", Segundo Simposio Internacional sobre la Tecnología de Transformación del Aluminio y sus Aplicaciones, Buenos Aires, agosto 1981, *Alluminio* (Milán), vol. 60, No. 11 (1981), pág. 527.
14. C. M. Varsavsky, "Growth aspects of the primary aluminium industry to the year 2000". Conferencia pronunciada en el Segundo Simposio Internacional sobre la Tecnología de Transformación del Aluminio y sus Aplicaciones, Buenos Aires, agosto 1981, *Aluminium* (Düsseldorf), vol. 58, No. 3 (1982), pág. 191.
15. L. Kapolyi, "The development of the aluminium industry to be expected and the environment". Opening address at the International Committee for the Study of Bauxite, Alumina and Aluminium, Tihany, 6 octubre 1981, *Kohászat* (Budapest), vol. 115, No. 3 (1982), pág. 123.
16. L. Gombás, información no publicada (Budapest), Centro de Investigaciones sobre el Hierro y el Acero, 1984).
17. M. Conserva, "Aluminio: quale futuro?", *Alluminio* (Milán), vol. 61, No. 1 (1982), pág. 11.
18. A. R. Woodward, "Aluminium: a look into the past and future", *Engineers' Digest* (Londres), vol. 36, No. 2 (1975), pág. 29.
19. R. J. Dowsing, "Ensuring supplies of strategic alloying elements for special steelmaking", *Metals and Materials*. No. 8, 1980, págs. 13-16.

II. Uso del aluminio en nuevas aplicaciones

Al evaluar la idoneidad del aluminio como sustituto de otros materiales estructurales, se deben tomar en consideración los beneficios para un determinado país o zona y la disponibilidad de materias primas y energía. Además conviene tener en cuenta lo siguiente:

- a) La estructura económica y distribución del capital en la zona de que se trate;
- b) La experiencia de la mano de obra local;
- c) El mercado interno y el grado en que está influido por la intervención de los organismos públicos.

Para aplicar estas consideraciones al aluminio, conviene examinar, como se hace a continuación, tanto las condiciones favorables como las perjudiciales.

Consideraciones favorables

Materias primas

El 90%^{*} aproximadamente de la producción de aluminio del mundo se produce a partir de la bauxita utilizando el procedimiento Bayer. Si se da por supuesto una tasa media de aumento anual del consumo del 5%, las reservas de mineral de bauxita totales del mundo bastarán para producir aluminio durante 150 años [1]. Además del mineral de bauxita de calidad comercial, existen otros recursos complementarios de bauxitas de mala calidad y de otras sustancias con un bajo contenido de Al_2O_3 , como la arcilla y la ceniza. Se han emprendido esfuerzos para procesar económicamente el aluminio a partir de esos productos a escala industrial. Tomando en consideración este ingente potencial, la materia prima para alimentar a las fundiciones de aluminio parece probable que dure casi indefinidamente. Prácticamente todas las reservas de bauxita de alta calidad se encuentran en las zonas tropicales de los países en desarrollo; Australia es el único país desarrollado con reservas sustanciales. Por consiguiente, desde el punto de vista de la materia prima, las posibilidades de expansión de las operaciones de fundición del aluminio parecen ser prácticamente ilimitadas.

Otro material importante utilizado en la explotación de las fundiciones de aluminio es el coque de gasolina, cuyo suministro es probable que sea escaso para fines de siglo [1].

Energía

Un requisito previo indispensable para dirigir una empresa de aluminio económicamente es la posibilidad de obtener una energía eléctrica barata. Una fundición de aluminio con una capacidad de 100.000 toneladas por año requiere una energía constante de 180 MW. En los países industrializados, en los que hasta 1970 estaban emplazadas la mayor parte de las fundiciones de aluminio del mundo, no parece factible que se produzca una nueva expansión en gran escala de las fundiciones de aluminio que requieren una gran densidad de energía. La explotación de nuevas fundiciones en esas esferas sólo se podría basar en la energía nuclear. Un caso típico es el del Reino Unido, donde las fundiciones de aluminio construidas en el decenio de 1970 están conectadas a una rejilla en la que el 60% de toda la energía eléctrica transmitida se genera en plantas de energía nuclear. En cambio, queda todavía un vasto potencial de energía hidroeléctrica no explotado en los países en desarrollo, como se indica a continuación [2]:

<i>Continente</i>	<i>Potencial de energía hidroeléctrica no explotado</i>	
	<i>(Porcentaje del total disponible)</i>	<i>(MW)</i>
África	98	429 000
América del Sur	93	269 000
Asia (con exclusión de la URSS)	93	637 000

Además, los países productores de petróleo disponen de grandes cantidades de gas natural que se queman sin dedicarse a ningún uso particular.

Productos fabricados

Con respecto a los productos fabricados, la situación es algo diferente. Para la fabricación de productos acabados, un mercado estable de lingotes de aluminio, por conveniente que sea, no puede resolver todos los problemas. Es igualmente

esencial disponer de capacidades suficientes y eficaces de semimanufactura que pueden atender toda la demanda de aluminio de los sectores de los usos finales. El establecimiento de instalaciones de semimanufactura para producir una buena selección de artículos semimanufacturados básicos para su uso por los fabricantes de productos acabados puede ser factible desde un doble punto de vista tecnológico y económico, incluso si se opera a una escala más modesta. El metal obtenido en la fundición puede transformarse en semimanufacturas en el estado de fundido inmediatamente emplazando en la fundición equipo de moldeado constante; ese equipo puede producir entre 10.000 y 20.000 toneladas de tiras o alambre de aluminio anualmente. Las hormas moldeadas por extrusión, los perfiles y los tubos, en cambio, deberían fabricarse en otros países, utilizando tochos de aluminio fundido de las fundiciones. La instalación de capacidades de semimanufactura más pequeñas, aun diseñadas para producir muchos artículos (salvo tiras anchas), no requiere una inversión sustancial de capital y puede igualmente expandirse, si lo justifica la demanda.

Niveles de los precios

Hasta fines de los años 70, del 70% al 75% aproximadamente de la producción total de aluminio llevada a cabo por los países desarrollados podía estar representada por seis empresas, y la política conjunta de esas empresas determinaba el precio del mercado del aluminio. Con el fin de ampliar el consumo del aluminio y de penetrar en nuevos sectores para que usaran el aluminio, las empresas solían mantener los precios lo más estables posible. Así es como se llegó a establecer el llamado precio del mercado "oficial" del aluminio. El precio oficial del aluminio se mantiene prácticamente inalterado a lo largo de grandes períodos, a veces durante dos o tres años. De 1965 a 1973 aumentó únicamente en el 10%, cifra que correspondía a un aumento medio anual del 1,3% [3]. En principio, el 90% de todas las transacciones del mercado del aluminio se basan en el precio oficial.

Debido a la integración creciente de la industria del aluminio, una parte considerable del aluminio producido por las principales compañías se vende a filiales y a empresas afiliadas, que reciben descuentos confidenciales especiales para protegerlas contra las fluctuaciones del mercado. Cuando hay una recesión, esos descuentos confidenciales se conceden frecuentemente también a los productores independientes. Además del precio oficial del mercado, la Bolsa de Metales de Londres cotiza (a título oficioso) los llamados "precios libres del mercado", a los cuales sólo se

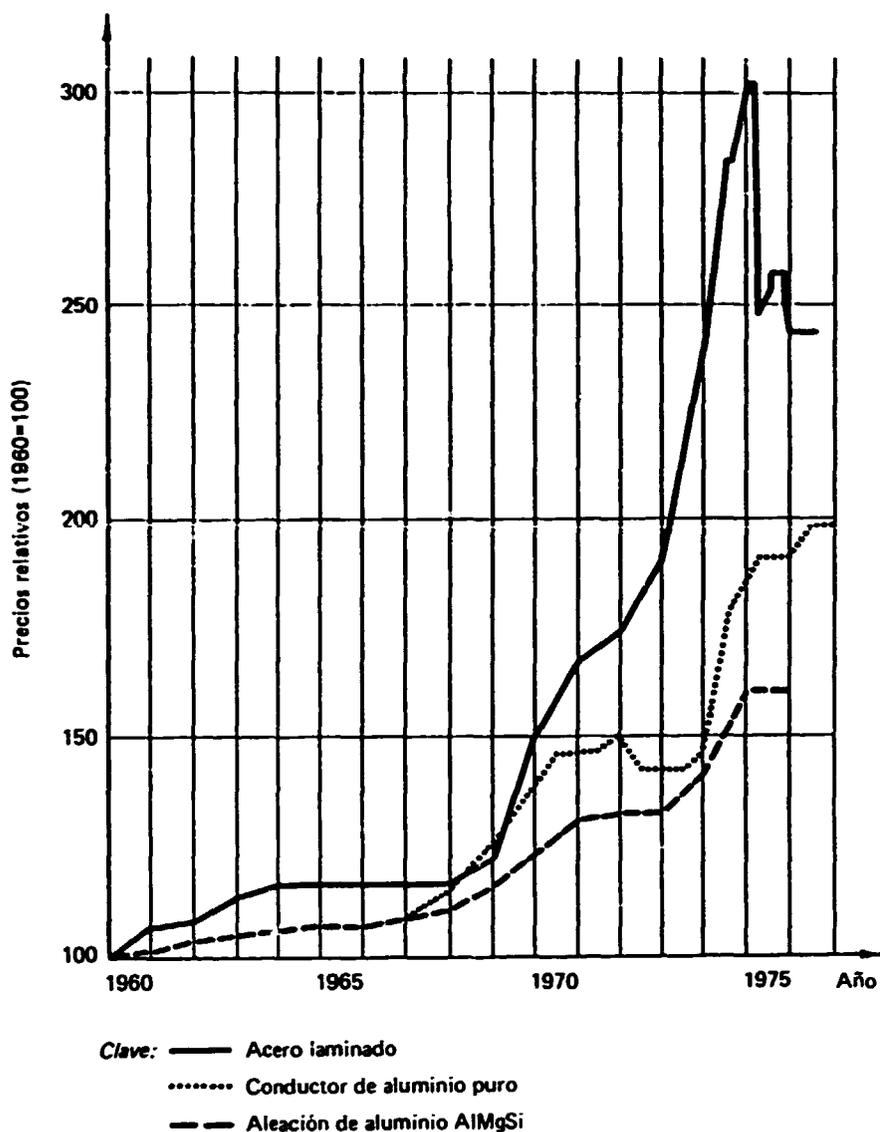
realizan, sin embargo, pequeños volúmenes de transacciones. Cuando la demanda y la oferta están equilibradas, no existe ninguna diferencia importante entre ambos precios. Desde octubre de 1978, la Bolsa de Metales de Londres cotizó un precio oficial del aluminio también. En 1981 hubo una gran diferencia (del 30% al 40%) entre el precio oficial y el precio de la Bolsa de Metales de Londres.

Este sistema estable de fijación de los precios contribuyó indudablemente al crecimiento anual del 9% al 11% de consumo de aluminio a lo largo de los años 60. La política de fijación de los precios ha intensificado fuertemente el empleo del aluminio en, por ejemplo, el sector de la edificación, el envasado y el equipo de transporte. No obstante, algunas deficiencias de los precios artificialmente estables del aluminio se pusieron de manifiesto después del aumento de los precios del petróleo de 1973 cuando los beneficios de la producción de aluminio empezaron a disminuir sensiblemente. En ese tiempo, la capacidad de fundición de las seis principales empresas se redujo al 44% de la capacidad del mercado mundial, después de la puesta en marcha en los países en desarrollo de nuevos proyectos relacionados con el aluminio en parte con el respaldo de los gobiernos [4]. Para compensar las pérdidas, las principales compañías elevaron los precios del aluminio en el 62% a lo largo del período 1973-1976 [3]. Recientemente la producción del aluminio se ha hecho más económica y no ha habido cambios esenciales en el precio del aluminio en relación con la mayor parte de los demás materiales estructurales (la mayor baja registrada, de 1977 a 1978, del precio del cobre fue sólo temporal). Después del alza de los precios del petróleo, algunos materiales estructurales mostraron marcadas fluctuaciones de los precios; en cambio, los precios del aluminio no siguieron esa tónica. En la figura VIII se hace una comparación de los precios de los productos moldeados por extrusión y los conductores de aluminio con los de los productos de acero laminado en Francia [5].

Competitividad

El reciente uso generalizado del aluminio se debe solamente en parte a cambios de los precios de otros materiales estructurales en comparación con los precios relativamente estables del aluminio. La verdadera razón de la extensión del uso reside también en ciertas características físico-técnicas excepcionales del aluminio. En la aviación y la investigación espacial, la ligereza unida a una resistencia mecánica relativamente alta y a una buena resistencia contra la corrosión hacen del aluminio un metal sumamente competitivo.

Figura VIII. Precios de las semimanufacturas de aluminio y de acero laminado en Francia, 1960-1976 [5]



El aluminio puede utilizarse por razones económicas o técnicas. Los cambios en los precios han dado origen a que el uso del aluminio resulte económicamente atractivo y el aluminio se puede emplear para sustituir a metales no ferrosos pesados. Las estructuras de aluminio modernas pueden ser más útiles que las de los diseños tradicionales y el precio es considerablemente inferior. Ejemplos típicos son los conductores de aluminio en lugar de los de cobre, los tubos y las láminas plegables de aluminio en lugar de las de estaño o los cierres de tuerca de las botellas (tapas a prueba de hurto) en lugar de los corchos. Según una investigación efectuada en la República Federal de Alemania en 1970, el costo medio de los taponos de corcho era de 0,045-0,100 marcos alemanes por pieza, y el precio de las tapas de

tuerca de aluminio era de 0,02 marcos por pieza. La sustitución de los conductos de desagüe de zinc por los de aluminio o el uso de refrigeradores de aluminio en lugar de permutadores térmicos fabricados con acero inoxidable o con cobre estañado son otros ejemplos

Sin embargo, incluso cuando los costos son mayores a los de los diseños tradicionales, las características técnicas del aluminio pueden determinar que su uso sea ventajoso. Esas aplicaciones del aluminio pueden con el tiempo producir un beneficio, a pesar del mayor precio de compra. Entre los ejemplos cabe mencionar diversas construcciones de aluminio utilizadas para la edificación, los marcos de ventanas y de puertas o los componentes de aluminio utilizados por otras industrias para mejorar la eficiencia operativa,

por ejemplo pistones, accesorios de máquinas para hilanderías y permutadores térmicos. Estos artículos requieren un escaso o nulo gasto de mantenimiento.

Las siguientes características positivas del aluminio tienen un especial interés:

- Economías de energía
- Protección ambiental
- Beneficios de la reutilización de la chatarra
- Ahorros de mano de obra
- Mayor comodidad para el usuario

En los estudios de viabilidad no basta con examinar si el aluminio es o no una variante equivalente al material que ha de sustituir; es muy importante que el consumidor se beneficie de su uso. Por ejemplo, los precios relativos de las materias primas que entran en el proceso de producción han de ser examinados meticulosamente, junto con la cuantía, el valor y la utilidad de la chatarra. Al comparar, por ejemplo, la fabricación de cierres de botella de aluminio o de chapa de estaño, se debe tener en cuenta que se produce un 30% de chatarra como resultado del corte y el recorte necesarios para dar la forma. Mientras que la chatarra de aluminio recuperable representa el 9% del valor de las láminas de aluminio utilizadas, la cifra correspondiente para las láminas de estaño es de sólo el 0,6% [6].

El diseño de una estructura de aluminio debe permitir una utilización óptima de las propiedades favorables del metal. La simple aplicación del aluminio en los diseños originariamente preparados para otros materiales es poco económica y está destinada de partida al fracaso. Un buen ejemplo de cómo se puede utilizar económicamente el aluminio es el vagón del metro más recientemente diseñado por Aluisse, que se caracteriza por grandes extrusiones de aluminio para los armazones. Esos coches resultan 30% más baratos que los del diseño convencional con armazón de acero [7].

Para una comparación exacta, es preciso efectuar un análisis detallado de todas las operaciones que entrañan la fabricación y el montaje, con particular atención a los ahorros de tiempo y trabajo. Cabe citar varios ejemplos en el sector de la edificación y en la industria de elaboración de metales. El costo de los materiales para edificar una construcción convencional destinada a la agricultura y a la ganadería es 17% inferior que el de la construcción con paneles ligeros de aluminio, pero el costo de mano de obra y el tiempo necesario para la edificación de esta última es 30% inferior. En consecuencia, el costo es aproximadamente el mismo. Además, la construcción con aluminio ligero resulta muy adecuada a la fabricación en serie y para las principales instala-

ciones agrícolas, como las piezas para la conservación en frigorífico o las granjas avícolas complejas, que se edifican en zonas remotas de los países.

Se ha de consagrar particular atención a la estructura cambiante de los recursos energéticos y a la elevación de los costos de la energía. En todo el mundo se están haciendo grandes avances con relación al ahorro de energía y actualmente existe una demanda universal para reducir el peso de los vehículos de transporte. El precio de los materiales estructurales utilizados en la fabricación de esos productos es el factor esencial para determinar la viabilidad del aluminio frente al acero.

Las buenas propiedades de resistencia a la corrosión del aluminio permiten efectuar considerables ahorros en los gastos de mantenimiento. Se calcula que el costo de mantenimiento de una estructura de acero a lo largo de un periodo de 30 años representa del 30% al 70% de su costo inicial, más 0,6-1,0 horas de trabajo por metro cuadrado por año. Por ejemplo, si se toman en consideración los costos iniciales y los costos en concepto de interés, resulta que la construcción de una valla con alambre de aluminio puede ser más económica que si se utiliza acero después de seis a ocho años [8].

El aluminio presenta grandes ventajas para la protección ambiental. Mientras que la destrucción de los desechos de plástico es difícil y la manipulación de la chatarra de acero es difícil dados su peso y su volumen, la manipulación de la chatarra de aluminio y su reutilización son relativamente sencillas y baratas [9]. En los Estados Unidos una reciente campaña destinada a recoger y refundir las latas de cerveza de aluminio desechadas provocó un aumento de las ventas de las bebidas en latas de aluminio.

Características técnicas

La naturaleza de los usos finales determina si el bajo peso específico, la buena conductividad eléctrica, la conductividad térmica o la resistencia a la corrosión son las características principales buscadas al elegir el aluminio como material estructural. Por supuesto, lo ideal sería que todas esas características superiores se pudieran utilizar para cada aplicación. No obstante, tal no es el caso, puesto que existen interacciones marcadas entre algunas de estas propiedades. Por ello, es necesario centrarse en las características más convenientes para la meta concreta de que se trate. Por ejemplo, la resistencia a la corrosión y la susceptibilidad a la deformación plástica de las aleaciones de alta dureza son inferiores a las de las aleaciones de dureza media.

Una consideración importante en la elección del aluminio para sustituir a otros materiales

estructurales es su resistencia a la corrosión, particularmente destacada en un medio ambiente industrial contaminado por SO₂. En el cuadro 21 se hace una comparación de las tasas de corrosión por SO₂ de las superficies de acero, zinc y aluminio [9, 10] después de 10 y 20 años en diversas localidades de los Estados Unidos. La tasa de corrosión observada en el aluminio, el cobre y el zinc expuestos durante un largo período a diferentes tipos de medio ambiente corrosivo ha sido objeto de un estudio especial; las conclusiones indicadas en la figura IX demuestran que la tasa de corrosión menor ha sido la del aluminio [11].

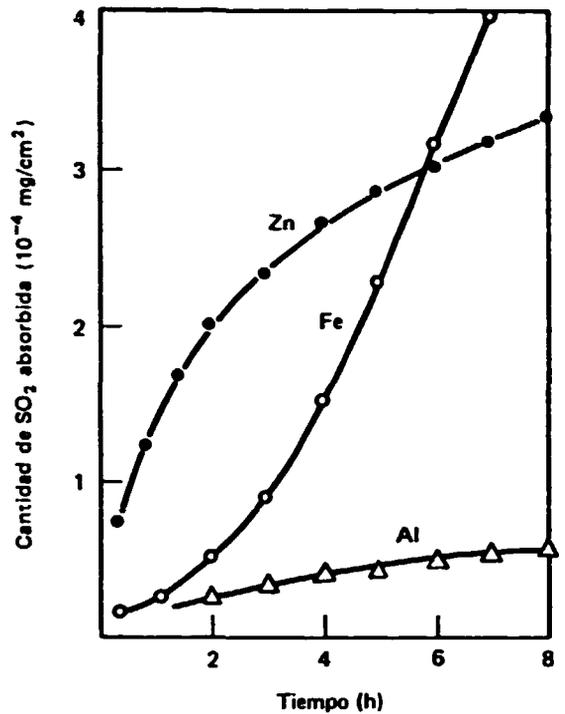
En el cuadro 22 se indican los precios de diversos materiales estructurales en relación con su dureza mecánica [12]. En lo que se refiere a la resistencia a la tensión, el precio del hormigón estirado, el acero muy dúctil, el hierro fundido y algunos plásticos es inferior al del aluminio. El aluminio se compara, sin embargo, favorablemente con los demás materiales enumerados, hecho que puede atribuirse a su bajo peso específico.

En el capítulo IV se examina detalladamente en qué grado las características técnicas favorables del aluminio han influido en la estructura del consumo de algunos sectores de usos finales. En ese capítulo se indican también más datos sobre cómo se puede utilizar el aluminio para sustituir a otros materiales estructurales.

Reutilización

En los países desarrollados la chatarra de aluminio refundida representa aproximadamente el 25% del consumo total de aluminio. Recogida, clasificada y limpiada, la chatarra de aluminio se refunde mediante diversos procedimientos metalúrgicos durante los cuales se eliminan sus impurezas no metálicas. Mientras que anteriormente del 10% al 15% de la chatarra se perdía irremediamente en el proceso de refundición, esta cifra se ha reducido ahora a un pequeño porcentaje gracias a la aparición de nuevas técnicas

Figura IX. Absorción de anhídrido sulfuroso en la superficie de los metales



Nota: Período de tiempo, 8 horas; humedad relativa, 90%; contenido de SO₂ de la atmósfera, 0,1 ppm.
Fuente: [10].

de refundición. Por otro lado, gracias a los nuevos avances logrados en esos procedimientos metalúrgicos, las trazas de impurezas oxidicas y no metálicas que permanecían en el metal secundario obtenido de la chatarra se han podido reducir entre el 100% y el 200%. La energía utilizada en el proceso de refundición ha disminuido también considerablemente, pasando de 2 000 a 3 000 kWh/t a 800 kWh/t [13]. Los lingotes secundarios refundidos a partir de la chatarra meticulosamente manipulada, con la adición de un porcentaje adecuado de aleaciones, son equivalentes a todos los efectos a los lingotes fundidos obtenidos a partir de las fundiciones de aluminio.

CUADRO 21. TASA DE CORROSIÓN DEL ALUMINIO, EL COBRE Y EL ZINC EN CIRCUNSTANCIAS DIFERENTES (mm/a)

Emplazamiento	Clima o condición atmosférica	Aluminio, 99,2 por ciento		Cobre, 99,9 por ciento		Zinc, 98,9 por ciento	
		Después de 10 años	Después de 20 años	Después de 10 años	Después de 20 años	Después de 10 años	Después de 20 años
Phoenix, Arizona	Clima desértico	1 × 10 ⁻⁵	7,6 × 10 ⁻⁵	1,3 × 10 ⁻⁴	1,3 × 10 ⁻⁴	2,5 × 10 ⁻⁴	1,8 × 10 ⁻⁴
State College,	Clima						
Pasadena, California	continental	2,5 × 10 ⁻⁵	7,5 × 10 ⁻⁵	5,8 × 10 ⁻⁴	4,3 × 10 ⁻⁴	1,1 × 10 ⁻³	1,1 × 10 ⁻³
La Jolla, California	Clima marítimo	7,1 × 10 ⁻⁴	6,3 × 10 ⁻⁴	1,3 × 10 ⁻³	1,3 × 10 ⁻³	1,7 × 10 ⁻³	1,7 × 10 ⁻³
Nueva York,							
Nueva York	Atmósfera industrial	7,9 × 10 ⁻⁴	7,4 × 10 ⁻⁴	1,2 × 10 ⁻³	1,4 × 10 ⁻³	4,8 × 10 ⁻³	5,6 × 10 ⁻³

Fuente: [11].

CUADRO 22. PRECIOS DE DETERMINADOS MATERIALES EN COMPARACIÓN CON SU RESISTENCIA MECÁNICA

	Resistencia a la tensión (MN/m ²)	Módulos de elasticidad (GN/m ²)	Fatiga (MN/m ²)	Densidad (t/m ³)	Precio (£/t)	Precio por unidad de resistencia (£/MN·m)		
						Resistencia a la tensión	Módulos de elasticidad	Fatiga
Hierro forjado	400	35,0	105,0	7,30	135	2,46	0,03	9,4
Aleación Cu-Zn	400	37,3	140,0	8,36	515	10,75	0,12	30,7
Acero al carbono	250	77,0	193,0	7,85	140	4,4	0,01	5,7
Acero de aleación	800	77,0	495,0	7,83	212	2,1	0,02	3,4
Aleaciones de titanio	960	45,0	310,0	4,51	6 500	30,5	0,65	94,5
Aleaciones de aluminio	300	26,0	90,0	2,70	800	7,2	0,08	24,0
Aleaciones de magnesio	190	17,5	95,0	1,70	2 500	22,0	0,24	44,7
Roble	14	4,5	6,0	0,67	895	43,0	0,13	100,0
Polipropileno	30	0	7,5	0,90	325	9,7	0	39,0
Nailon 66	80	0	24,0	1,36	925	15,7	0	63,0
Cloruro de polivinilo	50	0	12,0	1,40	240	6,7	0	27,0
Hormigón estirado	38	10,0	23,0	2,50	23	1,5	0,01	2,4

Fuente: [12].

A continuación figura, a título de ejemplo, una clasificación de la chatarra recuperada en Hungría:

	Porcentaje
Nueva chatarra industrial	40
Vieja chatarra, desechada por la población	40
Trabajos de tornería	20
Total	100

Aproximadamente los dos tercios de la chatarra recuperada se refunden para formar lingotes fundidos. Un tercio se añade a las cargas de láminas y tochos en las laminadoras o se utiliza como desoxidante en la metalurgia del acero.

Se requiere una organización bastante minuciosa para recoger y clasificar los desechos. Refinar diversos tipos de chatarras por métodos metalúrgicos resulta difícil y costoso. Por lo tanto, parece conveniente que, al establecer cualquier instalación de fabricación de aluminio, se tenga en cuenta la necesidad de proceder a la recogida, clasificación, almacenamiento, manipulación y refundición eficaces de los desechos, así como de adoptar disposiciones para la comercialización del metal secundario resultante.

Otras consideraciones

Necesidades de energía y capital

Dos consideraciones esenciales al instalar una fundición de aluminio son la abundancia de energía barata y la disponibilidad de grandes sumas de capital (muy superiores a las que se necesita para establecer instalaciones de producción de otras materias primas). La utilización de la bauxita y la alúmina *in situ* o en la zona no es un requisito previo imprescindible puesto que el

aluminio se transporta fácilmente a través de grandes distancias.

Hasta los años 60 en general sólo los países desarrollados y las economías de planificación centralizada podían permitirse construir fábricas de aluminio. La mayor parte de esas instalaciones están emplazadas, por ese motivo, en Europa, América del Norte y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, en donde se dispone de grandes cantidades de energía hidroeléctrica y térmica. La proximidad de los mercados de consumo había sido también un factor de peso.

El emplazamiento de los nuevos proyectos de hornos de fusión está determinado en la actualidad casi exclusivamente por las grandes necesidades de energía de los procedimientos de fundición. A los países desarrollados les resulta cada día más difícil suministrar energía barata en abundancia. De ahí la necesidad de emplazar las nuevas fundiciones en lugares donde existan posibilidades de obtener cantidades suficientemente grandes de energía barata. La utilización de nuevos recursos de energía, sin embargo, requiere inevitablemente nuevas inversiones de capital. La energía eléctrica es en la actualidad el principal y más importante factor de costo en la extracción electrolítica del aluminio.

La cantidad de energía requerida para la producción de aluminio se indica en el cuadro 23, en el que se compara la energía consumida en cada etapa sucesiva de la transformación de la materia prima en el producto semifabricado con respecto al acero, el cobre y el aluminio [14].

Las necesidades de energía para la producción de aluminio son impresionantes. Esa necesidad resulta elevada incluso teniendo en cuenta el menor peso específico del aluminio y el hecho de que añadiendo aleaciones adecuadas se puede obtener una composición cuyas propiedades mecánicas se aproximen a las del acero dulce. Al

CUADRO 23. CONSUMO DE ENERGÍA EN CADA ETAPA DE PRODUCCIÓN DE ACERO, COBRE Y ALUMINIO

(GJ/t)

Etapa	Redondos de acero, 30 mm de diámetro	Vorillas laminadas de cobre	Chapas de aluminio
Extracción	—	51.9	4.2
Carbonización	20.1	—	—
Concentración	5.9	—	—
Trituración	—	20.9	5.9
Flotación	—	7.5	—
Fabricación de alumina	—	—	41.9
Fusión	0.3	14.2	218.5
Fabricación de acero	6.6	—	—
Refinación electrolítica	—	12.6	—
Laminación	5.4	18.4	28.1
Total		125.0	298.7
Total (GJ/m ³)		1 130.0	795.6

Fuente: [14].

calcular estos factores, la demanda de energía para el aluminio ya no será de 8 veces, sino sólo de 2,7 a 3 veces la requerida para el acero. Por la misma razón, la energía utilizada en la fabricación de conductores de cobre y de aluminio será prácticamente idéntica si se tiene en cuenta la diferencia de sus pesos específicos.

El exceso de los costos de energía que ocasiona la fabricación de un producto de aluminio, sin embargo, puede recuperarse durante el uso subsiguiente. Ejemplo de ello es el ahorro de energía derivado del empleo de vehículos de transporte con componentes de aluminio.

No sólo requiere la producción de aluminio una densidad considerablemente mayor de energía en comparación con otros metales (especialmente el acero y el cobre), sino que la realización de proyectos de aluminio plenamente integrados exige grandes gastos de capital. En el cuadro 24 figura un modelo de cálculo. El capital necesario para la instalación de una fábrica de aluminio de 100.000 toneladas al año se indica detalladamente. Conviene señalar que:

a) La distribución de la producción en la etapa IV (productos (acabados) se ha elegido al azar;

b) Los costos de capital estimados no incluyen la infraestructura y los servicios de bienestar;

c) Aunque la fusión del aluminio se calcula que se efectúa a 200 MW, la estimación del costo de inversión no incluye la instalación de una central eléctrica;

d) La inversión de capital en cada etapa sucesiva de integración puede variar considerablemente en la práctica con la magnitud de las

capacidades y las tecnologías reales utilizadas. Por ese motivo, se han empleado cifras medias;

e) Las capacidades de cada etapa sucesiva indican cifras realistas desde el punto de vista de la viabilidad económica; además, están coordinadas para satisfacer la demanda de la etapa siguiente;

f) Para facilitar las cosas, no se han calculado las exportaciones de materias primas y productos semimanufacturados.

Según el cuadro 24, los costos totales de inversión de la hipotética fábrica de aluminio integrada de 100.000 toneladas al año giran en torno a los 670 millones de dólares a su valor de 1977.

La primera etapa de producción abarca las actividades relativas a las materias primas, con inclusión de la extracción de la bauxita, la fabricación de alumina y la fundición del aluminio y representa aproximadamente el 50% del costo total.

La segunda etapa es la semimanufactura; constituye el 38% del costo total de inversión. La fundición constante de la tira de metal y del alambre representa el 50% del costo de inversión en el proceso de semifabricación. La operación de fusión constante, sin embargo, se lleva a cabo físicamente cerca de la fundición. Si se tiene esto en cuenta, el porcentaje de los costos de inversión de las operaciones con las materias primas en la primera etapa se elevará al 70% y las de las restantes instalaciones de semifabricación (incluidas la extrusión, la fabricación de chapa, el vaciado y la refundición de la chatarra) se reducirá al 18%.

La tercera etapa abarca las operaciones de acabado de los productos semimanufacturados (por ejemplo, el tratamiento de la sección tallada utilizada en las carrocerías de los vehículos de motor prefabricadas). Por razones tecnológicas y financieras, es conveniente que esos procesos se efectúen en la laminadora. El porcentaje de la inversión asciende al 2%.

En la cuarta etapa se "fabrica" el aluminio acabado. Esto representa el 10% de los costos totales de inversión del proyecto integrado. El emplazamiento de estas instalaciones depende de consideraciones prácticas. La fabricación puede empezar primero en pequeña escala y ampliarse después.

Las materias primas son suministradas por productores nacionales o proceden de fuentes externas. Si las circunstancias nacionales, como la falta de energía, la insuficiencia de capital o la baja demanda interna, no permiten el emplazamiento de instalaciones de fabricación con materia prima nacional, existen otras formas de obtener

CUADRO 24. COSTOS DE INVERSIÓN DE UNA FÁBRICA DE ALUMINIO PLENAMENTE INTEGRADA CON UNA CAPACIDAD DE 100.000 TONS/AÑO

(En dólares de 1977)

<i>Etapas de producción</i>	<i>Operaciones y productos</i>	<i>Costos de inversión (dólares por tonelada)</i>	<i>Productos o capacidades (miles de toneladas)</i>	<i>Distribución y total de los costos de inversión (millones de dólares)</i>
I. Materia prima	Operaciones con la bauxita	45-65	600	40,0
	Fabricación de alumina	500	200	100,0
	Refundición del aluminio ^a	2 000	100	200,0
	Total, materia prima			340,0
II. Semielaboración	Fundición de banda continua	2 180	55	120,0
	Fundición de varilla de alambre continua	250	20	5,0
	Extrusión	2 700	20	54,0
	Fabricación de chapa y acabado	4 000	5	20,0
	Colada (a máquina)	4 440	7,5	33,0
	Fundición en arena e inyectada por gravedad, montada a escala industrial ^b	4 000	2,5	10,0
	Refundición de la chatarra	200	20	4,0
	Total, semielaboración			246,0
III. Acabado de la semielaboración: ^c	Anodización de secciones	670	3	2,0
	Pulimento de discos	20	10	0,2
	Soldeo de tubos	230	3	0,7
	Ondulación de las láminas	60	10	0,6
	Prepintado de las láminas	700	10	7,0
Total, acabado de la semielaboración			10,5	
IV. Productos acabados	Conductores descubiertos (estirado y trazado)	470	10	4,7
	Conductores y cables aislados	1 220	10	12,2
	Tubos plegables y botellas de aerosoles	2 560	5	12,8
	Estructuras de construcción	500	15	7,5
	Termopermutadores	1 000	5	5,0
	Ollas y otros recipientes de pared gruesa	800	5	4,0
	Equipo para el envasado en cinta de metal	300	3	0,9
	Componentes de ingeniería mecánica	800	7	5,6
	Diversos componentes estructurales	300	5	1,5
	Otros artículos labrados de metal	500	20	10,0
	Productos domésticos	600	10	6,0
Total, productos acabados			70,2	
Total general			666,7	

^aEl costo de instalación de una central eléctrica no está incluido.^bEl costo de inversión de una fundición menos compleja inyectada por gravedad sería de unos 2 000 a 2 500 dólares.^cEquipo, con exclusión de los locales. Para evitar duplicaciones, los toneladas no se resumen.

semimanufacturas o lingotes en el marco de acuerdos a largo plazo con fuentes extranjeras. Si una empresa que fabrica 100.000 toneladas al año de productos acabados de aluminio como la del modelo se basa íntegramente en materias primas importadas, los costos de inversión del proyecto, incluidas las operaciones de la etapa III, se calculan en 80 millones de dólares. Si se establecen instalaciones de semielaboración para fabricar extrusiones, chapa o vaciados (para lo que se pueden utilizar lingotes importados), los costos de inversión indicados para la etapa IV pueden aumentar en otros 100 millones de dólares.

Exigencias técnicas

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas difieren en muchos sentidos de las de otros metales. Debido a ello, la manipulación y elaboración del aluminio requieren unas técnicas que a menudo se consideran como una desviación de los métodos tradicionales de la metalurgia. Incluso el transporte y el almacenamiento del aluminio exigen un particular cuidado. Un embalaje defectuoso, una manipulación torpe durante el transporte o un mal almacenamiento pueden dar origen a que el vapor que se condensa y evapora

repetidas veces sobre la superficie deje manchar y estimule la corrosión. La superficie del aluminio puede resultar dañada por virutas metálicas o por escamas de hierro, polvo o arenilla. Para evitarlo, es preciso que el aluminio se guarde en almacenes limpios y bien aireados. De lo contrario se pueden plantear problemas en la elaboración ulterior.

En los talleres técnicos se requiere una limpieza casi aséptica. Es erróneo utilizar en la elaboración del aluminio, sin un tratamiento complementario, cualquier equipo, incluida la maquinaria y los troqueles, con el que se hayan manipulado previamente otros materiales. Antes de utilizar ese equipo para el aluminio, es preciso que todos los componentes, los troqueles e incluso los locales se hayan limpiado meticulosamente.

El labrado del aluminio se parece en cierto sentido más al de la madera que al del acero. Realza la semejanza el empleo de cortadores mecánicos de gran velocidad, pero para el aluminio se han de usar instrumentos especialmente adecuados. Aun cuando el aluminio es un metal maleable, que se presta bien a la deformación plástica, se requieren troqueles de un diseño especial dado que el aluminio es sumamente sensible a la lisura de la superficie del troquel. La embutición de aluminio blando, por ejemplo, requiere unos troqueles de superficie más dura que los utilizados para el acero, menos deformable y más robusta. Conviene respetar estrictamente las instrucciones técnicas basadas en las propiedades innatas del metal, por ejemplo, el redondeo más marcado de los bordes, la conicidad del molde de embutición, etc. El proceso exige, por lo tanto, unas técnicas totalmente distintas de las del acero. Otro caso pertinente es la fabricación de tubos plegables y recipientes cilíndricos de paredes finas, ya sea que se utilice la denominada técnica de extrusión de matrices por inyección-presión o la extrusión por percusión. Con la extrusión por percusión se logran unas dimensiones más precisas y una resistencia adecuada.

El soldeo y el tratamiento de la superficie del aluminio son fundamentalmente diferentes de los de otros metales. Al exponerse al aire, sobre la superficie del aluminio se deposita rápidamente una película adhesiva de óxido. Debido a ello, los métodos tradicionales de soldeo y tratamiento y pintura de la superficie que se aplican al acero son inutilizables para el aluminio. A causa de la gran conductividad térmica del aluminio y de la capa de óxido, las técnicas convencionales de soldeo fueron sustituidas por un método sumamente eficaz de soldeo por arco protegido. Cabe recurrir también a diversas modificaciones de la soldadura eléctrica por puntos y de la soldadura de costuras, aunque éstas requieren más energía y el empleo del control automático. Para el soldeo por presión

en frío del aluminio hace falta una fuerte presión para superar el efecto de la capa de óxido. La soldadura con latón o el soldeo del aluminio siguen requiriendo unas técnicas muy elaboradas porque las modificaciones de los métodos tradicionales de soldadura de aleación blanda han producido juntas bastante inestables susceptibles de corrosión. El uso de adhesivos para unir partes de aluminio plantea graves problemas a escala industrial debido al rigor de las normas técnicas y a la necesidad de un alto grado de limpieza. Está ganando terreno una nueva técnica de conexión de los componentes de las estructuras de aluminio, con arreglo a la cual los perfiles extruidos que se han de montar se deslizan uno dentro del otro para quedar firmemente enclavados. Aunque las dimensiones de las extrusiones tienen que ser de una extrema precisión, la operación puede ser ejecutada por mano de obra no calificada.

Una forma eficaz de mejorar la superficie del aluminio consiste en reforzar su capa de óxido por medio de una oxidación anódica. La capa de óxido anodizado resultante será resistente a la corrosión o formará una superficie porosa sobre la que se podrá aplicar inmediatamente un color de apresto. Ello es necesario con el fin de preparar las superficies del aluminio para la pintura. Otra técnica consiste en utilizar una capa de plástico como revestimiento. Así pues, si se desea que resista a la corrosión o prepararla para el apresto, es esencial proceder a un tratamiento eficaz de la superficie. Otros metales se recubren por lo general con una capa protectora de pintura.

En la selección de los productos semielaborados es posible llegar a alguna solución de transacción. Por ejemplo, el uso y la elección pueden depender de que la planta esté dotada de instalaciones para recocer o endurecer por envejecimiento piezas a máquina dentro de un pequeño campo de temperaturas en el curso de la producción.

Además de asumir la importante tarea de elegir los materiales adecuados y la tecnología óptima, los especialistas encargados del emplazamiento y la organización de la planta deben estar plenamente familiarizados con los hechos y las características esenciales que determinan la explotación de una industria moderna del aluminio.

Resistencia del consumidor

Siempre que surge una nueva posibilidad de utilización del aluminio, se ha de demostrar claramente su viabilidad técnica y económica en relación con los usos tradicionales. Esto no es

fácil porque la actitud conservadora del mercado a menudo está determinada por:

El hábito

La experiencia previa en la fabricación en serie

Los métodos tradicionales de montaje, mantenimiento y reparación

Los muchos años de prácticas operativas enraizadas

La legislación y la práctica reguladoras (salud, seguridad operativa)

Una primera medida consiste en convencer al consumidor de que es útil un prototipo. Hace

falta un trabajo adicional y meticuloso. Un prototipo o producto fabricado por contrato es siempre más costoso y por regla general no tan perfecto como los fabricados en serie. Se requiere por ello asistencia técnica para el montaje y el mantenimiento. El consumidor tiene siempre una innata cautela para aceptar algo nuevo que es difícil de superar. Por último, es preciso modificar los reglamentos e introducir otros nuevos. Este proceso de cambio de las actitudes es lento, fatigoso y costoso.

En el capítulo siguiente se dan algunos ejemplos concretos de cómo se pueden vencer esas dificultades iniciales con unas buenas perspectivas de éxito.

Referencias

1. Report of the Workshop on Case Studies of Aluminium Smelter Construction in Developing Countries, Viena, Austria, 27-29 junio 1977 (ID/WG.250/18).
2. Report of the Workshop of Case Studies of Aluminium Smelter Construction in Developing Countries, Viena, Austria, 27-29 junio 1977 (ID/WG.250/18), pág. 10.
3. A. Mersich, "World market of aluminium metal and semi-finished products: Quality aspects, conditions and problems with an impact on demand (internal and for export)" (ID/WG.273/3).
4. P. Relle y M. Kramer, *World Bauxite, Alumina and Aluminium Operations* (Budapest, Mineral-impex, 1977).
5. "News", *Chronique d'aluminium*, No. 2, 1977, pág. 5.
6. Calculations by the Research Institute of Canning and the Paprika Industry (Budapest, 1977).
7. M. Rey, "Nouveaux wagons pour le metro de Bruxelles", *Revue Suisse de l'aluminium*, vol. 25, No. 9 (1975), págs. 282-286.
8. M. Kaszics, "The economic feasibility of aluminium fences", *Magyar Aluminium*, vol. 8, No. 2 (1971), págs. 55 y 56.
9. D. Altenpohl y P. Pachleitner, "Behaviour of aluminium in corrosive atmosphere compared to other metals. Perspectives in corrosion abatement in various new fields", *Magyar Aluminium*, vol. 12, No. 2 (1977), pág. 45.
10. T. Sydberger y N. G. Vannerberg, "The influence of the relative humidity and corrosion products on the adsorption of sulfur dioxide on metal surfaces", *Corrosive Science*, vol. 12, No. 10 (1972), pág. 775.
11. C. J. Walton y W. King, ASTM Special Publication, No. 175 (Nueva York, 1953).
12. W. O. Alexander, "Economics of energy and materials", *Material Science Engineering*, No. 29, 1978, págs. 195-203.
13. D. Altenpohl, "Downstream operations and new applications of aluminium", documento presentado al Primer Simposio Internacional sobre la Tecnología de la Transformación del Aluminio y su Aplicación, Buenos Aires, Argentina, 21-23 agosto 1978.
14. G. Osztrovszky, "Raw material situation of the Hungarian national economy with special regard to the chemical, alumina and aluminium industry", documento presentado a la Academia de Ciencias de Hungría, 8 junio 1978, *Magyar Aluminium*, vol. 15, No. 10 (1978), págs. 289-299.

III. Promoción del uso del aluminio

Organismos de asesoramiento

La elaboración del aluminio y las posibilidades de extender su uso a diversos campos exigía cierto replanteamiento de las concepciones técnicas tradicionales. A fines de los años 20 los principales productores de aluminio del mundo, que en esa época sólo se ocupaban de la fundición, empezaron a investigar las técnicas de semielaboración y fabricación y a comunicar las conclusiones de sus investigaciones a sus clientes con ánimo de impulsar el consumo de aluminio.

Entretanto el aluminio se había convertido en el metal de más rápido crecimiento, en lo que a consumo se refiere, del siglo. Ello se puede atribuir en parte a la pronta iniciación de las actividades de investigación y desarrollo con respecto a este metal y a que los resultados de esas actividades se transmitieron a los clientes en forma de información, asesoramiento y asistencia técnica. Esa tendencia se mantuvo incluso cuando las propias fundiciones se incorporaron al sector de la semielaboración y la fabricación; con el aumento de la integración, las actividades de asesoramiento de los grandes productores de aluminio abarcan ahora más aspectos.

En algunos casos, especialmente cuando una compañía importante era el único productor de aluminio en una zona, se establecieron organismos especiales de información y asesoramiento, que en cierta medida eran independientes y no estaban vinculados desde el punto de vista organizativo a las divisiones de investigación y desarrollo técnico de las compañías de aluminio. Su principal cometido consistía en la promoción comercial de los descubrimientos de esas divisiones. Consecuentemente, se les pedía que se mantuvieran en contacto con los proyectistas, los fabricantes y los consumidores y que tomaran la iniciativa en diversas actividades destinadas a impulsar el uso del aluminio.

Actualmente, incluso si varias grandes empresas de aluminio llevan a cabo su actividad en la misma zona o país, es aconsejable constituir uno de esos organismos de asesoramiento con la participación de las fundiciones, las fábricas de productos semielaborados y representantes de los principales sectores de usos finales.

Entre los objetivos últimos de esos organismos de asesoramiento, que son idénticos ya se trate de

entidades independientes o patrocinadas por compañías, cabe mencionar los siguientes:

a) Promover el uso económico del aluminio en el mayor número de campos posible;

b) Explorar y promover nuevas utilidades del aluminio;

c) Ayudar a los productores y a los consumidores proporcionándoles asesoramiento y documentación técnica y organizando planes de capacitación para los directores técnicos y los trabajadores calificados;

d) Facilitar a las autoridades nacionales y a las organizaciones internacionales la información estadística pertinente sobre los usos finales del aluminio y otras innovaciones.

La diferencia fundamental entre los dos tipos de organismos de asesoramiento es la política comercial que aplican. El primer tipo se establece con miras a promover los intereses de la empresa o compañía patrocinadora. El patrocinador es una corporación pública, sea que funcione únicamente como un complejo industrial más integrado, normalmente tendrá que fomentar programas de promoción del aluminio lanzados por organismos públicos centrales coordinando los intereses de los patrocinadores con los de los consumidores potenciales. En su actuación el organismo de asesoramiento cuenta con la cooperación de los fabricantes y los consumidores. Sus actividades dependen en gran medida de los resultados de la investigación y la experimentación del patrocinador, que el órgano de asesoramiento tendrá que promover de una manera eficaz. Esos organismos operan en países donde esencialmente sólo existe una empresa importante integrada de aluminio.

Entre los organismos de asesoramiento del segundo tipo, Aluminium Zentrale (Centro del Aluminio) de la República Federal de Alemania, asociación dotada de personalidad jurídica financiada por sus empresas miembros, es el más conocido. Publica asimismo libros y edita un periódico. De sus 50 miembros, 18 son productores de aluminio primario, 12 son fábricas de productos semielaborados y 20 son fundiciones de aluminio y otros fabricantes. Aluminium Zentrale es una organización no lucrativa establecida para promover el uso del aluminio y técnicas eficaces de fabricación. El asesoramiento técnico al igual que

el uso de su servicio de documentación y sus planes de capacitación son gratuitos. Coordina la información sobre el aluminio, representa a la industria del aluminio en ferias y exposiciones y proporciona información estadística a diversas organizaciones. Administra cursos prácticos de capacitación y salas de exposiciones, pero no cuenta con divisiones de investigación y desarrollo.

En Hungría se estableció una organización consultiva especial para poner de relieve la importancia de la industria del aluminio para la economía del país. El Centro de Promoción de las Aplicaciones del Aluminio de la Corporación Húngara del Aluminio, con los auspicios de la organización consultiva especial, actuó hasta 1976 como una entidad separada. Las actividades a largo plazo de la industria húngara del aluminio se rigen por un programa central de desarrollo aprobado por el Gobierno. En esos planes se fijan y coordinan metas a medio y a largo plazo para cada etapa de integración del aluminio. El programa se refiere a todas las actividades industriales de la Corporación Húngara del Aluminio, como las operaciones con la bauxita y la alúmina, la fusión del aluminio, la semielaboración y la fabricación de algunos productos acabados, así como a las actividades de otros fabricantes de aluminio del país. Todas estas empresas son estatales y funcionan bajo los auspicios de diversos departamentos ministeriales. La Corporación Húngara del Aluminio administra un instituto independiente de investigaciones y proyectos y actúa como contratista general con respecto a proyectos importantes de promoción del aluminio y proporciona la base científica para el desarrollo de los productos acabados.

En sus actividades el Centro de Promoción contaba con la experiencia del instituto de investigaciones y diseño de la Corporación Húngara del Aluminio, así como con las recomendaciones y sugerencias de diferentes comités de trabajo y con la cooperación de los principales fabricantes.

El Centro disponía de una plantilla de personal de 50 miembros, 20 de los cuales eran ingenieros y técnicos y 10 trabajadores calificados que se utilizaban en los cursillos de capacitación del Centro. El presupuesto era financiado conjuntamente por la Corporación Húngara del Aluminio (60%) y la Junta Nacional de Desarrollo Técnico (40%). La mayor parte de los fondos se utilizaban para realizar prototipos, subvencionar una parte de los gastos adicionales ocasionados por la introducción de nuevos productos y para financiar la información técnica, exposiciones, publicaciones, cursos de capacitación, etc. De ese modo, los riesgos que entrañaban las innovaciones los podían compartir la industria del aluminio, los fabricantes de productos acabados y los organismos estatales responsables.

Existen varias organizaciones internacionales que prestan servicios de asesoramiento. El Centro Internacional de Desarrollo del Aluminio (CIDA) está constituido por las ocho empresas del aluminio más importantes. El CIDA se ocupa de diversas cuestiones relacionadas con el fomento y la normalización del aluminio, por ejemplo, las dimensiones de las juntas de aluminio y los nuevos métodos para reducir la corrosión. Sus descubrimientos por lo general se ponen únicamente en conocimiento de sus miembros.

Algunos países en desarrollo han comprendido la necesidad de establecer un organismo de promoción del desarrollo del aluminio y más seguirán el ejemplo. Independientemente de que uno, dos o más productores estén llevando a cabo una actividad en un país o región, parece conveniente que se establezca una organización de ese tipo como un órgano independiente de consumo con todas las partes interesadas, incluidos los productores de materias primas, las fábricas de productos semielaborados, los fabricantes de productos acabados y los consumidores.

Las nuevas soluciones ya no se limitan a un estrecho campo de la ingeniería, por lo que se requiere la cooperación y buena voluntad de muchos especialistas. La producción de elementos de edificación ligeros, por ejemplo, es compleja y exige la colaboración no sólo del especialista en aluminio, sino también del arquitecto proyectista, el contratista constructor y el consumidor. En lo que respecta a los embalajes de aluminio para la industria de la alimentación, la industria del aluminio debe cooperar con la industria de elaboración de alimentos, el comercio al por menor y los consumidores. Además de las ventajas tecnológicas, la cooperación activa con todas las partes interesadas puede facilitar considerablemente la planificación en un país de la producción y el consumo a mediano y largo plazo.

Investigación y desarrollo

Ya se ha indicado más arriba de qué modo los servicios de asesoramiento pueden impulsar el uso del aluminio. Es posible, sin embargo, que no resulten nunca realmente eficaces a menos que se complementen con una investigación y concepción de proyectos organizadas. Los numerosos usos finales del aluminio y las múltiples tecnologías en la fabricación del aluminio exigen una política de desarrollo meticulosamente concebida en todas las etapas, desde las materias primas hasta el producto acabado. Las compañías de aluminio importantes desempeñan esta ardua, costosa y a menudo arriesgada tarea por medio de una red de institutos de investigación, desarrollo y

concepción. Un ejemplo típico es ALCOA, que gasta del 1,5% al 2% de sus ingresos —unos 60 millones de dólares (de 1976)— en actividades de investigación y desarrollo. Los laboratorios de ALCOA son el mayor centro de investigaciones sobre metales ligeros del mundo. No obstante, otros grandes productores de aluminio del mundo gastan también sumas ingentes en investigaciones y las industrias del aluminio de los países más pequeños siguen el ejemplo. En Hungría, existe un instituto de investigaciones, desarrollo técnico y diseño que actúa con los auspicios de la Corporación Húngara del Aluminio y se financia con fondos que representan del 4% al 4,5% de la cifra de negocios total de la Corporación. Otros productores de aluminio de Hungría dedican aproximadamente el 1% de su cifra de ventas de productos acabados a la investigación y el desarrollo técnico.

En los países que acaban de lanzarse a la fabricación del aluminio, el trabajo de desarrollo técnico es indispensable. Las investigaciones y la concepción técnica deben dar la posibilidad de adaptar las aplicaciones del aluminio utilizadas en otros países. La experimentación debe abarcar la exploración y puesta a prueba de nuevas utilidades y nuevos productos para el mercado nacional. En este caso, el peso del trabajo y los costos debe soportarlos la industria del aluminio. Inicialmente el desarrollo técnico debe incluir:

a) La fabricación o adaptación de aleaciones más idóneas para las condiciones nacionales;

b) La introducción de una tecnología moderna de refundición de la chatarra, que es esencial para el suministro de determinados lingotes a las fundiciones;

c) La introducción de unas técnicas óptimas de articulación, incluidos cursos de capacitación en soldadura, y la aplicación de técnicas de articulación en frío;

d) La adaptación de los métodos de tratamiento de la superficie a las condiciones locales, y de ser necesario modificación de esos métodos;

e) El estudio y la aplicación práctica de las técnicas de deformación plástica, incluida la fabricación de troqueles;

f) El uso y fabricación en el país de máquinas herramientas;

g) El diseño y la fabricación de protocolos y la prestación de asesoramiento técnico a los potenciales clientes antes de la fabricación en serie.

Conviene que en esta etapa los investigadores e ingenieros especialistas nacionales recaben la asistencia de expertos calificados en diversas disciplinas, con el fin de contar con una sólida base científica para llevar adelante el desarrollo técnico.

Realización de productos

La prueba de la eficacia de las innovaciones de los productos, con inclusión de la investigación, el diseño, la adaptación, las licencias y el asesoramiento técnico, es una tarea ardua y compleja. Un indicio de la eficacia de la innovación es la tasa de aumento del consumo de productos semielaborados y el incremento de los beneficios de las fábricas. Otros indicadores son:

a) La sustitución de otros metales por el aluminio que posibilite el aumento de la rentabilidad y el perfeccionamiento de las operaciones. Sirvan de ejemplo la sustitución del cobre en la fabricación de conductores eléctricos, que reduce los costos de instalación de los sistemas de transmisión de electricidad, y la introducción de permutadores térmicos de aluminio y también de láminas de aluminio para embalaje, que facilitan la comercialización de los alimentos elaborados;

b) El uso de componentes de aluminio para aportar beneficios importantes al consumidor. Ejemplos de ello son los considerables ahorros de energía de los vehículos de transporte y el empleo de accesorios de aluminio para movimientos alternantes rápidos en las fábricas de tejidos y las máquinas de imprimir. Esas sustituciones mejoran los niveles técnicos y la eficacia en función de los costos;

c) Ahorros en los gastos de mantenimiento, especialmente en la construcción de edificios ligeros.

Recientemente se ha ideado un método para evaluar la intensidad de las actividades innovadoras en la esfera del aluminio que consiste en comparar la participación anual media de los productos nuevos con la tasa de crecimiento medio anual del consumo del aluminio a lo largo de períodos de 5 a 10 años. Este método lo presentó R. Kumar en el Simposio Internacional sobre Tecnología de Transformación y Aplicaciones del Aluminio celebrado en 1978 en la Argentina [17].

En el cuadro 25 figura la tasa de crecimiento de la participación a largo plazo de los productos nuevos y del consumo de aluminio.

Las cifras correspondientes a la Argentina y el Reino Unido muestran la necesidad de una labor eficaz de desarrollo técnico, sin el cual el crecimiento del consumo en los períodos sucesivos puede tender a reducirse fuertemente. En realidad, en el período 1966-1976 la tasa de crecimiento anual medio del consumo de aluminio en el Reino Unido se redujo al 1,9% [2].

La evaluación de la eficacia del producto se complica debido a que cada producto ha de estudiarse por separado según sus ventajas. Es más, el desarrollo, puesta a prueba e introducción final de una aplicación del aluminio a escala

CUADRO 25. RELACIÓN DE LA APARICIÓN DE NUEVOS PRODUCTOS CON EL AUMENTO DEL CONSUMO DE ALUMINIO EN VARIOS PAÍSES

Pais	Periodo	Tasa media de aumentos anual del consumo de aluminio (porcentaje)	Parte media anual de los productos nuevos (porcentaje)
Alemania, República Federal de	1958-1965	9,5	4,0
Argentina	1965-1974	15,5	2,3
Estados Unidos	1963-1966	12,4	6,9
Hungría	1965-1970	9,8	6,3
Italia	1958-1965	9,8	5,8
Japón	1958-1965	14,4	6,5
Noruega	1958-1964	12,0	6,1
Reino Unido	1958-1965	6,1	2,3

Fuente: [1].

industrial lleva frecuentemente más tiempo que la vida útil del producto (por ejemplo, el revestimiento de aluminio extrudado de los cables subterráneos).

La participación del 6,5% de Hungría en las nuevas aplicaciones del aluminio y la tasa de crecimiento anual medio del 9,2% del consumo interno en un período de seis años son favorables en comparación con las demás estadísticas del cuadro 25. El crecimiento general continuo del consumo de aluminio y la reducción gradual o la suspensión de algunas formas de uso del aluminio en Hungría, por otra parte, dependen siempre de las necesidades del país con relación al cambio de su estructura industrial.

El aluminio se está utilizando menos en Hungría en:

Los vehículos para transportar agua (botes pequeños y naves fluviales de tamaño mediano para pasajeros)

Los conductores elevados de teléfonos de aleaciones de aluminio (aumenta el empleo de cables enterrados)

Las puertas, ventanas y tejados de aluminio y los techos de los vagones de los tranvías (debido a la reorganización del material rodante nacional)

Las cubiertas externas de los termos (sustituido por materiales plásticos)

Las tapas de botellas (sustituido por materiales plásticos)

Entre los nuevos productos introducidos recientemente cabe mencionar:

Los cables subterráneos de transmisión eléctrica revestidos de aluminio con conductores sólidos de aluminio

Los recipientes para aerosoles

Los recipientes para gas líquido

Las ollas de presión

Nuevos tipos de lámina de aluminio compuesto para embalaje y usos domésticos

Nuevos tipos de marcos de ventana y material para techos

Radiadores

Los organismos de asesoramiento vigilan las tendencias de los mercados nacional y mundial y deben prever el desarrollo industrial mundial a largo plazo. Esto es esencial para estudiar las aplicaciones prometedoras y realizar la preparación de prototipos.

De acuerdo con la experiencia húngara, los fondos del centro de asesoramiento se distribuyeron como sigue: del 30% al 40% se dedicó a innovaciones que podían utilizarse de inmediato, del 20% al 25% se gastó en preparar el camino para nuevas aplicaciones del aluminio en los próximos 5 a 10 años y el 40% se destinó a proyectos que con el tiempo resultaron factibles. El porcentaje relativamente grande de experiencias negativas, sin embargo, tuvo por lo menos la ventaja de que señaló ciertas esferas en las que el aluminio no puede definitivamente emplearse para sustituir a otros materiales estructurales.

Los ejemplos citados ponen ampliamente de manifiesto que la labor de los organismos consultivos puede contribuir considerablemente a una realización eficaz de productos. Los organismos consultivos comparten también con las partes interesadas los riesgos que entraña la introducción de una nueva aplicación del aluminio. Esa participación en el riesgo variará, por supuesto, según el sistema económico, la estructura industrial y las materias primas de que dispone cada país.

Referencias

1. R. Kumar, informe de la delegación que participó en el Primer Simposio Internacional sobre Tecnología de Transformación y Aplicaciones del Aluminio, Buenos Aires, Argentina, 21-23 agosto 1978 (Jamshedpur, India, Laboratorio Metalúrgico Nacional, 1978).
2. *European Aluminium Statistics, 1976* (Düsseldorf, Aluminium Zentrale).

IV. Aplicaciones del aluminio

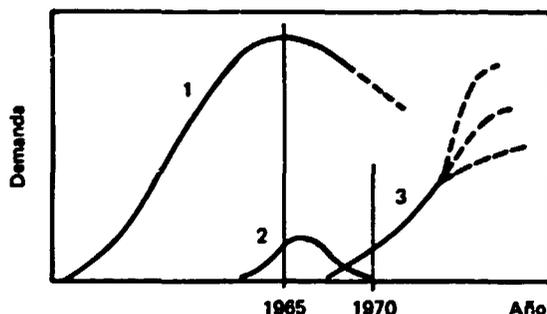
Los grandes avances que está haciendo el aluminio en todo el mundo y los esfuerzos de sus promotores por mantener sus posiciones intactas se están produciendo en una atmósfera de fuerte competencia con otros materiales estructurales. Sin embargo, existen ciertas esferas en que la posición del aluminio parece firme e indiscutible y no parece probable que cambie a largo plazo debido a la situación mundial de las materias primas.

Un caso pertinente a este propósito es el de la industria de la energía eléctrica, en el que los conductores de aluminio para la transmisión de electricidad de tensión alta y mediana han desplazado irreversiblemente al cobre. Un proceso análogo se está produciendo actualmente en la fabricación y utilización de termopermutadores.

En la fabricación de vehículos de transporte, sin embargo, el aluminio hace frente a una aguda competencia del acero y más recientemente de los materiales plásticos.

En otros sectores de utilidades finales, la competencia es aún más marcada, dado que la mayor parte de los productos se prestan igualmente bien a ser fabricados con aluminio o con otros materiales. Una comparación interesante a este respecto es la que se hace en la figura X, que muestra las curvas de utilidad trazadas con respecto a los artículos para cocina de aluminio utilizados en algunos países desarrollados de Europa [1].

Figura X. Demanda de utensilios de cocina de aluminio en algunos países desarrollados de Europa



Clave:

- 1 Utensilios de cocina tradicionales
- 2 Utensilios de cocina de aluminio y acero inoxidable
- 3 Utensilios de cocina de aluminio esmaltado o recubierta de plástico

Los utensilios de cocina de aluminio tradicionales mantienen su posición. En cambio, los utensilios compuestos de aluminio y acero inoxidable después de haber hecho ciertos progresos durante dos o tres años, desaparecieron debido a su precio y a la falta de respuesta. Los gastos de desarrollo difícilmente pudieron recuperarse con las ventas realizadas en ese corto espacio de tiempo. Más tarde, aparecieron en el mercado los utensilios de cocina de aluminio esmaltado y recubierto de plástico. Después de un período de prueba de tres años, estos utensilios ganaron popularidad y se produjo un gran aumento de sus ventas. La persistencia de esta tendencia dependerá en gran medida de la demanda futura del mercado. No obstante, a pesar de los considerables gastos para la realización de los productos, estos utensilios parecen ser prometedores de unos rápidos rendimientos financieros.

A continuación se hace un análisis detallado de varios usos finales típicos del aluminio. Se han elegido expresamente para demostrar la importancia de la experimentación y la necesidad de hallar nuevas salidas y de conservar las antiguas. Se presentarán varios casos en los que las ventajas de una concepción no se evaluaron suficientemente o en los que la competencia de otros materiales estructurales hizo necesario suspender temporalmente o abandonar completamente el proyecto.

El capítulo presente trata de tecnología. El capítulo V contiene información sobre fuentes de conocimientos técnicos y nombres y direcciones de instituciones y empresas industriales que pueden proporcionar información y otro tipo de asistencia.

Ingeniería eléctrica

En 1976 el consumo mundial de aluminio para la energía eléctrica giró en torno a los 2 millones de toneladas, lo que representaba el 15% del consumo mundial total de aluminio [27]. La cantidad por persona de aluminio utilizado por la industria de la ingeniería eléctrica variaba considerablemente según el país y la zona, como se indica en el cuadro 26.

Las perspectivas de una más amplia expansión son excelentes tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo.

CUADRO 26. CONSUMO DE ALUMINIO POR PARTE DE LA INDUSTRIA DE INGENIERIA ELÉCTRICA EN DETERMINADOS PAISES

(Media 1973-1977)

País	Consumo por persona (kg)
Países desarrollados de Europa occidental	1,4 ^a
Brasil	1,2
Hungría	3,5
India	0,15
Sudáfrica	1,0
Estados Unidos	3,7

^aMedia ponderada. El campo de variación va de 0,7 a 1,8.

La Administración de Correos del Reino Unido indicó que el 25% de su red de cables de teléfonos se fabrica con aluminio. En un plazo de 10 años, los cables de teléfonos de aluminio habrán reemplazado probablemente en su totalidad a los de cobre [2]. Según otra previsión, el campo de la ingeniería eléctrica en los Estados Unidos —con su elevado consumo por persona actual— se convertiría en el mercado del aluminio de más rápido crecimiento de ese país [3]. Al final de siglo, la ingeniería eléctrica se prevé que representará el 20% del consumo total mundial de aluminio [4].

Hungría tiene una gran concentración de utilización del aluminio en la ingeniería eléctrica. Históricamente ello puede atribuirse a la escasez crónica y al impulso constante al ahorro de los metales pesados no ferrosos del país desde antes de la Segunda Guerra Mundial, unidos al cambio de los precios del cobre. El uso del aluminio ganó, por ese motivo, terreno rápidamente en la fabricación de cables aéreos de transmisión eléctrica, de conductores de media y baja tensión, así como de bobinas de motores y transformadores. En 1951 se publicó una especificación normalizada húngara sobre el uso del aluminio y de las aleaciones de aluminio en la ingeniería eléctrica; esa especificación trataba de la aplicación tecnológica y económicamente factible del aluminio para muchos usos finales en la esfera de la electricidad. Clasificaba las posibilidades en "deseables", "practicables" o "no practicables". La primera especificación normalizada se ha revisado posteriormente a la luz de las innovaciones tecnológicas.

Conductores

La participación del aluminio en la fabricación de los conductores en Hungría es del 76%, frente al 24% que corresponde al cobre. En la mayor parte de las economías de planificación centralizada, el aluminio representa del 50% al 60% del total de los conductores fabricados,

mientras que en la República Federal de Alemania el 70% de todos los conductores se siguen fabricando de cobre y sólo el 30% de aluminio.

Los fabricantes húngaros de conductores y cables de aluminio han adquirido experiencia en la producción con elevados niveles tecnológicos. El progreso considerable del consumo de aluminio en la esfera de los conductores se aceleró asimismo debido a la pronta especialización de la ingeniería y de los trabajadores húngaros en las técnicas de instalación de aluminio y en la aplicación del aluminio en el equipo eléctrico. Debido a ello, las empresas de ingeniería húngaras dedicadas a esas actividades utilizan actualmente el aluminio de preferencia al cobre.

El empleo de un conductor de aluminio o de cobre depende de los costos de producción de los conductores de aluminio, las economías de su uso y su fiabilidad. Existe una marcada tendencia a la baja en el precio de los conductores de aluminio en comparación con los de cobre.

El bajo peso específico, la elevada conductibilidad específica (pequeñas pérdidas de energía) y la resistencia a la corrosión (ahorros en los gastos de mantenimiento) de los conductores de aluminio constituyen ventajas adicionales. La fiabilidad está garantizada por la elevada resistencia mecánica y la susceptibilidad a la deformación plástica, la fusión y la soldadura. Sometida a la misma carga, la tasa a la que se eleva su temperatura ambiente es idéntica a la del cobre.

Para comparar diversos metales se puede utilizar un índice de viabilidad económica representado por la fórmula $\frac{1}{\rho p \gamma}$; en la que ρ representa la resistencia específica, p , es el precio por unidad de volumen y γ es la densidad [5]. Calculados a los precios de 1974 y utilizando uno para el aluminio como base para la comparación, los índices correspondientes al cobre, el magnesio y el sodio son 2, 1,14 y 0,55, respectivamente. A largo plazo éstos parecen ser los conductores más prometedores. Desde el punto de vista de la viabilidad económica, el magnesio y el sodio son los dos metales que se acercan más en valores al aluminio. Son embargo, ambos son difíciles de obtener en grandes cantidades y difíciles de manejar y de procesar.

Líneas y cables aéreos

Hungría fue un pionero en la instalación de redes completas de telecomunicación y de transmisión de energía de aluminio. La experiencia ha demostrado ampliamente que desde un punto de vista práctico el aluminio es equivalente y, desde un punto de vista económico, probablemente superior, a los conductores anteriormente utilizados de cobre y de bronce de cadmio. De ahí que en todo el mundo la mayor parte de las redes

eléctricas utilicen el aluminio incluso para las tensiones más elevadas (por ejemplo, la línea de transmisión eléctrica de 750 kV de Hungría).

Líneas aéreas de alta tensión

En el cuadro 27 se comparan la resistencia y el precio de los cables utilizados en las redes eléctricas de alta tensión.

CUADRO 27. RESISTENCIA Y PRECIO DE TRES CABLES DE ALTA TENSIÓN DE DIFERENTES MATERIALES SOBRE UNA BASE DE IGUAL PESO

Material	Resistencia relativa (Al = 100)	Precio relativo en el mercado mundial, 1976 (Al = 100)
Aluminio con alma de acero (ACSR 1:6)	108,7	70
Aleación de aluminio (E AlMgSi)	100	100
Bronce de cadmio	228	150

Como puede verse, la resistencia de un conductor a base de aluminio es la mitad que la de un conductor a base de cobre del mismo peso y su precio es de un medio a dos tercios el del cobre. Los mismo sucede con las redes de baja tensión, en las que, debido a las frecuentes ramificaciones de los conductores principales y a la proximidad de las torres que los mantienen, la resistencia a la tracción del aluminio no se utiliza plenamente.

Las redes aéreas de transmisión eléctrica se suelen fabricar con los tipos de cables de aluminio que se indican en el cuadro 28.

CUADRO 28. PROPIEDADES DE LOS CONDUCTORES COMÚNMENTE UTILIZADOS EN LAS LÍNEAS AÉREAS

Material	Resistencia específica ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	Resistencia a la tracción (N/mm^2)	Especificaciones de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	
			Temperatura normal	Temperatura permisible en caso de cortocircuito
Aluminio (duro)	0,0282	170-200	70	130
Aleación de aluminio (E AlMgSi)	0,325	295	80	155
Aluminio con alma de acero	0,240 0,0282	1 530 163-197	....	....

Las líneas aéreas de alta tensión tienen que ser muy seguras con cualquier carga térmica y mecánica y resistir los efectos de la corrosión del uso exterior. Además, deben soportar toda carga excesiva que pueda producirse.

Debido a su inferior resistencia mecánica, los conductores de aluminio no aleado se utilizan,

por regla general, en las redes de baja tensión, en las que las cargas mecánicas son menores. Para las redes de tensión mediana y alta, se utilizan conductores de aluminio con alma de acero y, en menor medida, cables de aleaciones de aluminio [6]. Los cables de aluminio con alma de acero se emplean también como conductores especializados. Es habitual un revestimiento de zinc para proteger al acero. Últimamente se está utilizando también un revestimiento de soldadura de aluminio [7]. Los cables de aluminio con alma de acero son adecuados para los conductores de fase y de puesta a tierra.

En las redes eléctricas es transcendental determinar correctamente la potencia máxima de salida de un conductor. Esta potencia máxima dependerá, además de factores ambientales y climáticos, de la composición, el diseño y los parámetros de trefilado del conductor. Al elegir una especificación, se debe prestar particular atención a los aspectos de la fiabilidad funcional durante la vida proyectada del cable. Se han de evitar daños importantes y la resistencia mecánica del cable no debe perder más del 5% de su valor original.

El desempeño y la fiabilidad de los cables deben vigilarse constantemente. En todas partes se está procurando obtener tipos nuevos y más eficaces de conductores aéreos de aluminio.

En el cuadro 29 se indican las potencias máximas de corriente de los conductores aéreos de alta tensión.

Cables

Los cables aéreos de aluminio se utilizan como conductores de fase y neutros en las redes de distribución de baja tensión, los conductores principales de servicio, las instalaciones a la

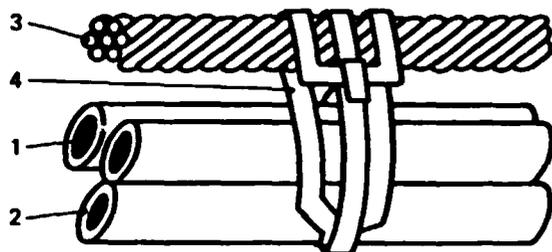
CUADRO 29. CAPACIDADES MÁXIMAS DE CORRIENTE DE LOS CONDUCTORES AÉREOS DE ALTA TENSIÓN

Material	Área de la sección transversal (mm^2)	Capacidad máxima de corriente	
		Normal (A)	En caso de cortocircuito (kA)
Aluminio	300	680	27
	643	1 120	58
Aleación de aluminio (E AlMgSi)	95	350	9
	240	625	24
	300	785	28
Conductor de aluminio con alma de acero	110	430	12
	250	710	24
	500	1 120	60

Nota: Las cifras se refieren a los conductores fabricados en Hungría. Los valores son válidos para las condiciones ambientales peores (radiación solar, temperatura ambiente de 30°C , velocidad del viento de 1 m/s).

intemperie y provisionales (véase la figura XI). Han logrado conquistar una rápida aceptación debido a la mayor facilidad con la que el 80% de las fallas que se producen en las redes de distribución de baja tensión causadas por los principales conductores de servicio convencionales a la intemperie se pueden eliminar. Sus características destacadas son la facilidad de instalación y el menor número de averías que sufren.

Figura XI. Cables aéreos



Clave:

- 1 Conductor sólido o trenzado
- 2 Aislante de materia plástica
- 3 Cable de suspensión trenzado
- 4 Gancho de suspensión

Los cables aéreos se fabrican con un 99,5% de aluminio en secciones transversales de 6 a 300 mm² con una resistencia a la tracción de 70 a 110 N/mm². La capacidad máxima de un cable de sección transversal de 240 mm² en condiciones normales de funcionamiento y a una temperatura ambiente de 25°C es de 410 A; en caso de cortocircuito, la temperatura no debe pasar de 150°C.

La rigidez dieléctrica del aislante de materia plástica es de 40 kV/cm. El cable trenzado portador se fabrica de aluminio o de una aleación de aluminio. Unido fuertemente a las líneas principales de servicio satisfará todas las exigencias técnicas y eléctricas actuando como portador del conductor de fase aislado, por un lado, y como conductor neutro, por el otro.

La instalación de los cables aéreos se ha de efectuar ajustándose estrictamente a las especificaciones normalizadas vigentes. Los elementos de conexión prefabricados facilitan enormemente un montaje rápido.

Elementos de conexión de aluminio

En la transmisión de energía eléctrica se utilizan elementos de conexión de aluminio como acopladores de conductores y elementos de suspensión y de protección. Los acopladores de los conductores están destinados a conectar a dos o más conductores de una línea de transmisión; los acopladores de suspensión se utilizan para sostener los cables aéreos, para mantener en su sitio los

conductores y aislantes aéreos o para conectarlos entre sí; y los acopladores de protección se instalan para incrementar la seguridad de funcionamiento de la línea de transmisión. La sujeción a presión es el método habitual de fijación, gracias al cual las extremidades de los cables son seguras, económicas y fáciles de manejar. Estos accesorios incorporan los avances más recientes en la tecnología de instalación. Se utilizan en una amplia gama de redes que van desde las de baja tensión de 0,4 kV hasta las redes de transmisión de alta tensión de 750 kV [8, 9, 10].

Transmisión eléctrica

En todo el mundo existe una escasez creciente de mano de obra calificada unida a una presión universal para que se actualicen las técnicas de instalación de conductores. Para atender a esta demanda, recientemente se han construido varias estructuras de aluminio que ahorrarán gastos de mantenimiento en las líneas de transmisión eléctrica.

A pesar de haber sido construida hace 10 años en una zona industrial de Hungría donde se utilizan profusamente productos químicos, las verificaciones anuales de una torre modelo para una línea de transmisión eléctrica de aluminio no han revelado hasta ahora trazas de cambios o de daños. Este y otros modelos análogos han despertado un gran interés internacional [11].

Telecomunicaciones

En el pasado los cables aéreos utilizados para transmitir llamadas interurbanas a más o menos larga distancia se han fabricado con alambre de aleación de aluminio E AlMgSi endurecida por envejecimiento. Los datos estadísticos correspondientes a los últimos 30 años han demostrado que las averías ocurridas durante su uso eran sólo de la mitad a los dos tercios de las averías registradas cuando se utilizaban conductores de bronce [12]. Ello se debía en gran parte a las técnicas eficaces de sujeción y conexión aplicadas, así como a las propiedades innatas del aluminio.

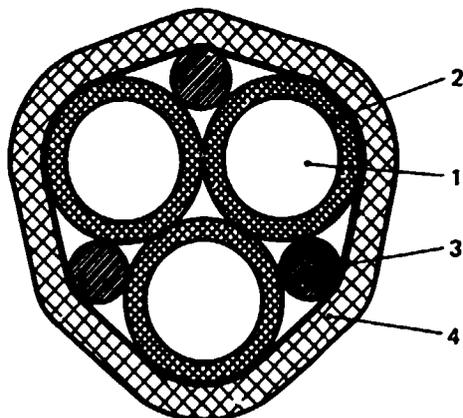
Cables subterráneos

Los conductores de aluminio se han utilizado en la fabricación de cables desde los años 30. Sin embargo, hasta después de la Segunda Guerra Mundial no se concibieron ni se introdujeron a escala industrial tecnologías para revestir los cables subterráneos con aluminio. Un progreso importante en el diseño de los cables subterráneos se produjo recientemente con la aparición del conductor de aluminio sólido en los cables dieléctricos sólidos de baja tensión. Un precursor en este sector fue ALCAN, la primera empresa que

dio a conocer en detalle las características técnicas de sus cables conductores de aluminio sólido para baja tensión Solidal [13].

Los costos de producción de los cables dieléctricos sólidos de 0,6 a 1 kV sólo pueden competir con los cables aislados de papel impregnado fabricados a partir de conductores de fase de aluminio de tres hilos con un revestimiento de aluminio que actúa como conductor neutro, si los cuatro conductores se fabrican de aluminio. Las especificaciones normalizadas de algunos países (por ejemplo, VDE 0271/3.69 de la República Federal de Alemania) prohíben explícitamente el uso del aluminio como un conductor neutro colocado concéntricamente en torno a los otros tres conductores e insisten en que se utilice el cobre. A pesar de sus ventajas técnicas, el empleo del cobre compromete seriamente la eficacia del costo de ese cable. No obstante, con una protección adecuada contra la corrosión, el empleo de un cuarto conductor de aluminio colocado concéntricamente está autorizado en algunos países. Se indican ejemplos en las figuras XII y XIII [14, 15, 16].

Figura XII. Sección de un cable de aluminio con un hilo neutro de tres conductores

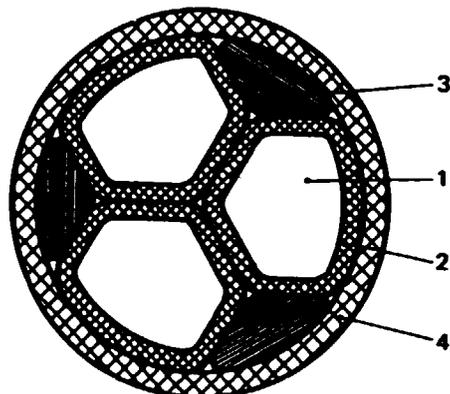


Clave:

- 1 Conductor de aluminio sólido
- 2 Aislante de CPV
- 3 Hilo neutro: alambre de aluminio envuelto en cinta de aluminio
- 4 Revestimiento de CPV negro

Los conductores de aluminio de sección 95, 150 y 240 mm² extruidos a partir de 99,5% de aluminio tienen una resistencia a la tracción de 60 a 70 N/mm². Estos conductores son suficientemente flexibles y plegables para permitir una fácil manipulación después de la instalación. Su empleo ha confirmado que los cables subterráneos de alta tensión ya no necesitan estar constituidos por conductores trenzados ya que se pueden utilizar conductores sólidos de hasta 240 mm² de sección.

Figura XIII. Sección de un cable de aluminio con un hilo neutro de tres conductores para una corriente nominal de 0,6 a 1 kV



Clave:

- 1 Conductor de aluminio sólido de un perfil arqueado de cinco ángulos
- 2 Aislante de CPV
- 3 Hilo neutro: alambre de aluminio de perfil triangular arqueado recubierto con cinta de aluminio
- 4 Revestimiento de CPV negro

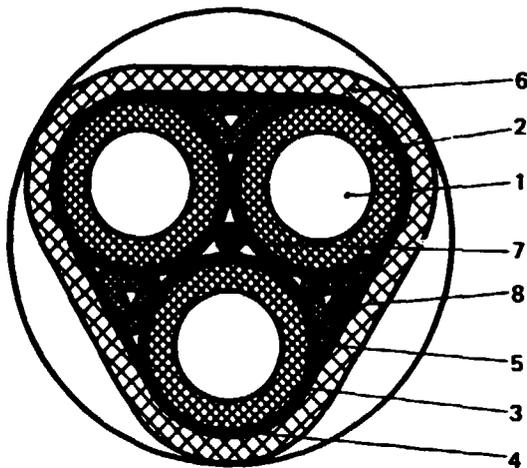
Las cajas terminales de cable se pueden conectar aplanando y perforando los extremos del conductor sólido con un instrumento especial. Las técnicas de presión en frío para sujetar los conductores trenzados se han adaptado también para los conductores sólidos. Además, los métodos tradicionales de fusión pueden aplicarse sin peligro a los conductores sólidos para conseguir juntas sólidas y seguras.

Los conductores sólidos han demostrado, por lo tanto, su utilidad y se han utilizado durante los últimos 10 años en cables subterráneos de alta tensión de 6 a 35 kV como se muestra en la figura XIV [16]. El cable se instala fácilmente. El aislamiento que ya facilitado debido a que es más sencillo añadir una capa de materia plástica de superficie suave y parcialmente conductora a un conductor sólido que a uno trenzado.

Aunque algunas especificaciones normalizadas internacionales no autorizan el uso de hilo neutro concéntrico y protegen a los conductores fabricados de aluminio, en Hungría incluso la capa protectora aislante se fabrica con una cinta de aluminio [16]. Anteriormente se enrollaba en torno al conductor, pero los nuevos cables de 0,6 a 1 kV tienen ahora una banda de protección de aluminio fijada longitudinalmente al conductor.

Las experiencias positivas han demostrado que en los cables dieléctricos sólidos de baja y alta tensión constituido por conductores de fase de aluminio, conductores de protección y neutros se pueden obtener ahorros en los costos de materiales y mano de obra [16].

Figura XIV. Sección transversal de un cable de alta tensión

**Clave:**

- 1 Conductor de aluminio sólido
- 2 Aislante de materia plástica con superficie exterior revestida de grafito
- 3 Cinta de papel parcialmente conductora
- 4 Tira de aluminio de doble capa
- 5 Tira de acero de doble capa
- 6 Revestimiento de CPV azul
- 7 Alambre de protección de aluminio
- 8 Relleno de CPV

Cables de teléfonos y telecomunicaciones

Cuando el cobre escaseaba durante la Segunda Guerra Mundial, Hungría produjo cables telefónicos simétricos de frecuencia portadora a larga distancia y local con aluminio y aislamiento de papel y revestimiento de plomo [13]. En la posguerra, cuando los precios del cobre comenzaron a subir fuertemente, se produjo una tendencia similar; sin embargo, sólo en Australia [14] se utilizaron estos cables extensamente.

La aparición de cables totalmente llenos ha modificado completamente la situación. Estos cables suelen tener aislantes de polietileno celular. Los huecos entre los alambres se llenan con gelatina de petróleo hidrófuga para proteger al cable contra la corrosión. El revestimiento está constituido por una cinta de aluminio revestida de polietileno y polietileno [15]. Algunas empresas han fabricado una aleación especial AlMgFe como conductor, algunas de cuyas propiedades mecánicas se acercan a las de los conductores de cobre, lo que da la posibilidad de una mayor productividad en la fabricación y de utilizar técnicas más fáciles de conexión en el momento de la instalación [16]. Los cables de aluminio y aleación de aluminio totalmente llenos han conquistado una amplia aceptación, especialmente en el Reino Unido [15, 16].

Líneas de servicio

Las líneas de servicio principales se utilizan para alimentar las instalaciones eléctricas interiores de los edificios, los hogares y las estructuras industriales y agrícolas. Entre las cuestiones que se examinan a continuación figuran los conductores aislados [17], los canales colectores [18, 19] y las juntas y accesorios [19, 20].

Con los nuevos avances de las técnicas de fabricación e instalación, el aluminio se ha convertido en un conductor equivalente al cobre para múltiples usos. El aluminio es aceptado ahora universalmente para las instalaciones generales. El cobre se utiliza únicamente cuando se ha de prestar particular consideración a una mayor fiabilidad de funcionamiento (por ejemplo, señales de alarma, conexiones interiores del equipo, etc.) [21].

Conductores aislados

La conductividad del aluminio depende de numerosas condiciones. En muchos países los conductores se han normalizado. Los conductores se suelen fabricar a partir de 99,5% de aluminio, sea en forma sólida o en conductores trenzados de varios hilos.

El aluminio de 99,5% se alea a veces ligeramente con otros metales, especialmente el hierro [22] para aumentar la flexibilidad. Algunos de esos materiales de los conductores se conocen como Triple E y Super T. Sus límites nominales figuran en las especificaciones normalizadas correspondientes y dependen también de las condiciones de la instalación (en yeso, en armadura revestida fuera de las paredes, etc.).

En muchos países se pueden utilizar para el alumbrado o para el equipo utilizado en los hogares, las industrias, las escuelas y otras instituciones, conductores predominantemente o exclusivamente aislados integrados por varios cables de aluminio. Al colocar las juntas, conexiones y accesorios, se han de tomar en consideración algunas peculiaridades del aluminio para evitar que los hilos se rompan o la fuerte plastodeformación que causa un exceso de temperatura y posiblemente cortocircuitos.

Cuando se imponen normas estrictas de seguridad o cuando se requieren numerosas juntas y conexiones a lo largo de una corta distancia (por ejemplo, en los hospitales, las cajas de derivación, etc.), es preferible utilizar conductores de cobre para evitar la termodeformación.

Canales conductores

Los métodos de edificación convencionales se han quedado a la zaga de los avances tecnológicos más recientes. La aparición de la construcción ligera dio origen a diversos diseños nuevos de

canales de varillas conductoras. Éstos, al igual que las láminas de montaje perforadas y las redes de varillas tubulares conductoras de aluminio elevadas revestidas de plástico, facilitan ahora enormemente la instalación, mejoran la productividad y permiten ahorrar trabajo.

El aluminio se considera ahora preferible a los plásticos como material para los canales de varillas conductoras. El aluminio tiene cualidades superiores de resistencia al fuego.

Junturas y conexiones

Los conductores de aluminio son susceptibles a la termodeformación y sensibles a las incisiones. Por consiguiente, es particularmente importante que se apliquen técnicas eficaces de sujeción, junta, alargamiento y conexión de los conductores y que se elijan accesorios de un diseño adecuado [19, 20].

La conexión puede efectuarse, por ejemplo, por soldadura, fusión o fijación a presión. Estos últimos tiempos se han diseñado muy diversas juntas y conexiones para garantizar la fiabilidad y el funcionamiento eficaz de los conductores de servicio. Manipulados por un personal suficientemente entrenado y calificado, pueden promover considerablemente la eficacia y la seguridad de funcionamiento.

Transformadores y condensadores

Transformadores

En los últimos 40 años se han utilizado bobinas de aluminio para la fabricación y utilización de transformadores. Utilizadas primordialmente para los transformadores de distribución, las bobinas se suelen diseñar con límites nominales de hasta 2,5 MVA y límites de tensión de 3,6 a 36 kV. Algunas de ellas se utilizan para transformadores de aceite y otras para transformadores secos. Se dispone asimismo de transformadores con envoltura de aluminio para límites nominales muy pequeños (varios VA) y superiores (en campos que van de 25 a 63 MVA). En los diseños recientes de los transformadores de alta tensión varias partes estructurales se fabrican de aluminio, con el fin de reducir las pérdidas adicionales. Esas partes incluyen las pinzas, los vasos, las tapas y las superficies de la pantalla protectora electromagnética.

Las economías del uso del aluminio en las bobinas de los transformadores se comparan con las del cobre. Si las bobinas de cobre de un transformador se sustituyen por bobinas de aluminio del mismo tamaño, la relación entre los límites nominales de sus bobinas a unas tempera-

turas de 75°C se pueden expresar mediante la fórmula siguiente:

$$P_{Al} = P_{Cu} \times \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}} = 0,79 P_{Cu}$$

en la que P_{Al} y P_{Cu} son los límites nominales de los transformadores con bobinas de aluminio y de cobre, y ρ_{Al} y ρ_{Cu} sus resistencias específicas correspondientes. Si el precio de un transformador envuelto de cobre de una cifra nominal de P_{Cu} es ρ_{Cu} y, con fines de comparación, su límite nominal se reduce al del transformador envuelto en aluminio, su precio será ρ_{Cu} . Como los precios cambian con la $\frac{3}{4}$ a. potencia de las cifras nominales, se obtiene la fórmula siguiente:

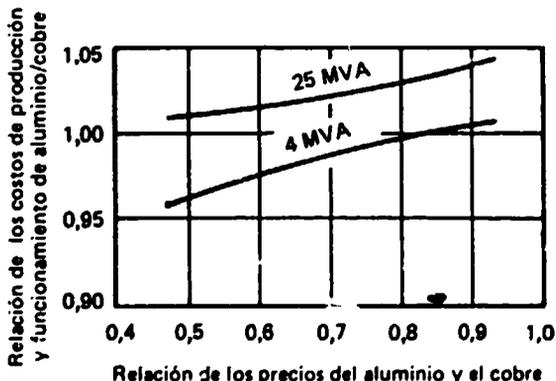
$$P'_{Cu} = (\rho_{Cu}/\rho_{Al})^{3/4} P_{Cu} = 0,84 P_{Cu}$$

Desde el punto de vista de los costos de producción, el uso del aluminio resultará más económico si los costos de producción reducidos a que da origen la reducción de la capacidad nominal de un transformador envuelto en cobre son todavía superiores a los de un transformador con bobinas de aluminio de la misma capacidad nominal.

Un transformador es económico cuando sus costos de producción y funcionamiento se reducen a un mínimo. Para ese transformador, las bobinas de aluminio se utilizan insuficientemente en comparación con las bobinas de cobre sometidas a la misma carga. Mientras que con las bobinas de cobre las densidades de corriente más económicas oscilan entre los 2,5 y los 3,5 A/mm², con el aluminio el campo correspondiente es de 1,5 a 2 A/mm².

En la figura XV la relación entre los costos totales de producción y funcionamiento de los transformadores de 25 MVA y 4 MVA envueltos en aluminio y los envueltos en cobre se indican en comparación con la relación entre los precios del aluminio y del cobre, tomando como base los precios de los metales en Hungría en 1974. Se

Figura XV. Eficacia en función de los costos de los transformadores con bobinas de aluminio y con bobinas de cobre (sobre la base de los precios de los metales en 1974 en Hungría)



observará que con un transformador de alta potencia de salida, el empleo de devanados de aluminio es más eficaz en función de los costos, mientras que con un transformador más pequeño, o cuando la relación entre los precios del aluminio y del cobre se reduce a 0,85 o menos, el empleo de bobinas de cobre es más eficaz en función de los costos [3, 23].

Los precios de los metales y de la energía pueden variar según el país, pero como regla general se puede aceptar que por debajo de una capacidad nominal de 2,5 MVA las bobinas de aluminio son más económicas que las de cobre. Esto es importante porque el 90% de la producción mundial de transformadores está constituido por capacidades nominales menores que ésta. En cuanto a las capacidades nominales superiores a 25 MVA, por razones de dimensión, el empleo de bobinas de aluminio no es factible.

En los transformadores secos las bobinas constituyen la parte más importante del espacio del transformador; en consecuencia, el uso de bobinas de aluminio es económico y los costos de producción son inferiores.

Teniendo en cuenta las cargas y las dimensiones, el mejor material de bobina de aluminio es el alambre semiduro con una conductividad de $35 \text{ S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$, una prolongación en la ruptura del 12% y una dureza de Brinell de $200 \text{ N}/\text{mm}^2$. Recientemente, para las capacidades nominales de hasta 4 MVA, se han utilizado bobinas de lámina de aluminio para los transformadores secos y aislados en aceite [24, 25]. Sus ventajas son las siguientes: mejor disipación del calor en las bobinas; mayor resistencia a los cortocircuitos y mejor distribución de la tensión causada por tensiones de choque. Esas bobinas se prestan bien a la automatización.

El espesor de 99,5% utilizado sin puzas en toda la lámina de aluminio empleada en los transformadores aislados en aceite o con materia plástica oscila de 0,01 a 0,04 mm; por encima de este espesor se utilizan tiras de aluminio. Hungría está fabricando actualmente transformadores secos con lámina de aluminio aislada con materia plástica actualizados con arreglo a una licencia especial de la AEG.

Condensadores

El volumen de energía eléctrica necesario para las subestaciones de condensadores está aumentando. Los condensadores dieléctricos líquidos de alta tensión y los condensadores secos de baja tensión se fabrican en la actualidad casi exclusivamente con bobinas de láminas de aluminio. Las láminas de aluminio puro de 99,9% utilizadas tienen un espesor de 0,005 a 0,120 mm y una anchura de 60 a 400 mm. La superficie de la lámina tiene que ser lisa y estar desprovista de impurezas y

de aceite. Las fluctuaciones de más de un 10% en el calibre de la lámina reducen su capacidad y aumentan los costos de producción.

Vehículos motorizados

Existe ahora una marcada tendencia a diseñar vehículos motorizados que tengan menor peso y ahorren energía. En consecuencia, se están actualmente llevando a cabo investigaciones para sustituir a los conductores y bobinas de cobre tradicionales de los vehículos motorizados por los de aluminio. Hay buenas posibilidades de que el aluminio sustituya al cobre a largo plazo si se idean métodos adecuados para conectar y fijar los conductores de aluminio con la mínima caída de la tensión posible de una manera segura y económica.

En la actualidad se está perfeccionando una aleación de aluminio flexible resistente a la termodeformación plástica y contactos para baja tensión (12 V) de buen rendimiento. Se prevé su aplicación a escala comercial para el próximo futuro.

Iluminación

El empleo del aluminio para aluminaación está determinado por su escaso peso específico, su resistencia a la corrosión, su aspecto atractivo y su buena reflexión. El aluminio se utiliza predominantemente para las cubiertas de las lámparas y los espejos.

El bajo peso específico es importante si se pretende reducir el peso de los soportes de los acopladores de las lámparas. Ello es especialmente importante cuando se instalan muchas lámparas en grupos compactos, como en los estadios donde a menudo cada poste sostiene de 60 a 80 proyectores.

La resistencia a la corrosión es importante para los accesorios del alumbrado utilizados a la intemperie, que deben durar 10 o más años. La superficie de los espejos de aluminio debe anodizarse. Aunque la reflexión sobre esa superficie es algo menor, la mayor dureza y resistencia al desgaste permite una limpieza regular.

El aspecto atractivo de los portálamparas es especialmente conveniente para uso interior. Es preciso aplicar a la superficie de aluminio un barniz brillante o un tinte de anodización.

La buena reflexión es un requisito fundamental para los reflectores, los faroles y la iluminación de interior. Para aumentar la reflexión, se utiliza aluminio de una alta pureza del 99,99% con 0,5 a 1% de magnesio añadido. La brillantez de la superficie del aluminio puede conseguirse mediante la barnización química, electrolítica o mecánica, o una combinación de esos métodos.

La producción en serie de aparatos de alumbrado requiere la automatización. Una nueva técnica se sirve de la presión de vapor para aplicar aluminio sobre superficies de materia plástica. Sin embargo, la resistencia térmica de esos espejos sigue siendo reducida. En las fuentes luminosas donde se producen altas temperaturas, como las lámparas de mercurio, halógenos y sodio, el empleo de espejos de aluminio es más factible desde el doble punto de vista tecnológico y económico.

Motores eléctricos

Las bobinas de los motores eléctricos se suelen fabricar de cobre debido a su elevada resistencia específica en comparación con el aluminio. Las bobinas de aluminio no están todavía generalizadas y se reducen más o menos a los motores pequeños. No obstante, la mayor parte de los motores pequeños son del tipo conmutador y el aluminio no se puede utilizar fácilmente debido a la película de óxido que se forma en su superficie.

En cambio, en las bobinas giratorias de los motores sincrónicos, el aluminio, con su peso específico de un tercio, reduce considerablemente la fuerza centrífuga. A su vez, los sujetadores de las bobinas están expuestos a una carga menor y se pueden reducir de tamaño, dejando más espacio para el montaje de las bobinas. Por ese motivo, el aluminio se puede utilizar con ventaja.

Algunas empresas de ingeniería que se especializan en material de bobina de transformadores han empezado también a producir alambres de aluminio aislados para bobinas giratorias. Esos alambres son redondos o planos, con un aislante de esmalte, de fibra de vidrio o de otro tipo.

Los precios relativos del aluminio y del cobre determinarán cuál de los dos es más económico. Muchos fabricantes de motores han empezado a utilizar bobinas giratorias de aluminio, obteniendo considerables beneficios técnicos y financieros debido a que el alambre y el aislante de aluminio se adaptan mejor a sus tecnologías particulares.

Equipo de instalación

La industria de la ingeniería eléctrica utiliza grandes cantidades de aluminio para conductores, conmutadores y otro equipo, tal como se ha descrito anteriormente.

Conductores

Las varillas conductoras de aluminio se utilizan ahora ampliamente para la transmisión de energía eléctrica de alta tensión. Al diseñarlas e instalarlas se deben tener en cuenta tres parámetros: su peso específico, su conductividad específica eléctrica y su resistencia mecánica.

El aluminio es obviamente superior a cualquier otro material conductor desde el punto de vista del peso específico. En lo que a la conductividad se refiere, en teoría sería preferible utilizar aluminio de la mayor pureza posible. Sin embargo, es preciso cumplir ciertos requisitos en lo que se refiere a la resistencia mecánica. En consecuencia, en la práctica se ha de dar preferencia a aleaciones de aluminio (AlMgSiO₃) que pueden satisfacer mejor esos requisitos. Conviene prestar la máxima atención a la manipulación experta de las superficies de contacto al unir, conectar y juntar las varillas conductoras.

Las juntas son más fácilmente separables si se atornillan las extremidades de los conductores. En el caso de conductores extrafinos, existe la posibilidad de enlazar las extremidades de los conductores. La resistencia de contacto de las juntas atornilladas dependerá siempre de cómo se hayan hecho [26]. Los contactos no serán nunca realmente eficaces a menos que la película de óxido que se forma sobre la superficie del aluminio —que es siempre un mal conductor— se haya eliminado de los terminales del conductor que se han de juntar o que las extremidades del conductor se hayan revestido con un metal que posea buenas propiedades de contacto. Se puede lograr un contacto adecuado limpiando las superficies de los terminales bajo una capa de vaselina (aplicando partículas de zinc suspendidas en vaselina) formando una capa metálica por electrochapeado sobre las superficies de contacto con plata, cobre o estaño rociándolas con un metal que sea mejor conductor que el aluminio (por ejemplo, el cobre o la plata) [27]. Las varillas Exconal producidas por ASEA de Suecia combinan las características útiles del aluminio y del cobre incrustando una lámina de cobre en el conductor de aluminio; las varillas son en un 85% de aluminio y en un 15% de cobre (revestimiento). Esas varillas conductoras pueden conectarse de la misma manera que las de cobre puro.

Las juntas permanentes se realizan por soldadura o por presión [28]. Las juntas soldadas son mejores conductores que las separables y no se prestan a una resistencia transitoria. El procedimiento de soldadura es, sin embargo, difícil y requiere meticulosidad en la elección de una tecnología adecuada [29, 30].

Las juntas permanentes se pueden hacer por presión, como para los cables trenzados, o por extrusión en frío como para conectar conductores de lámina metálica [28, 31, 32]. Los extremos de los alambres de los cables se unen sea por extrusión en frío o por sujeción a presión.

Varillas metalizadas

Para aumentar la seguridad de funcionamiento para los usuarios, se han fabricado diversos sistemas de distribución blindados. Esos sistemas se

pueden distribuir por toda una zona industrial y dan la posibilidad de que las líneas de servicio individuales se conecten rápidamente. Debido a ciertas dificultades de las técnicas de instalación, a menudo se da preferencia al cobre para este fin. Sin embargo, EKA de Hungría ha elaborado una técnica eficaz para conectar esas líneas derivadas a varillas conductoras de aluminio sea de manera permanente o con la ayuda de clavijas de conexión adecuadas.

Las varillas metalizadas se utilizan en las centrales eléctricas y en las redes de distribución para conectar a los generadores y a los transformadores [33]. Cada fase de las varillas es metalizada por separado, lo que excluye prácticamente la posibilidad de cortocircuitos de las barras conductoras.

Equipo metalizado

Los cálculos han demostrado que la utilización de acero estructural en el equipo portador de corrientes de más de 1.000 A da origen a considerables corrientes secundarias y pérdidas. A unos 3.000 A el acero ya no puede utilizarse en ese equipo y tiene que ser sustituido por una aleación de aluminio [34].

Como material estructural, el aluminio está también siendo más empleado para los aparatos de conexión exteriores, con lo que la corrosión y los gastos de mantenimiento se pueden reducir a un mínimo razonable [34]. Hungría ha exportado aparatos de conexión de aluminio a unas 50 centrales eléctricas con turbina de combustión [35].

El equipo eléctrico destinado a uso interior puede montarse sobre aparatos de conexión de aluminio metalizado; de las subestaciones a las casas el equipo eléctrico se puede instalar fácilmente [34].

El uso del aluminio en las subestaciones de transformación exteriores tiene ventajas similares [35].

Una aplicación interesante del aluminio es el aparato de conexión protegido contra el gas hexafluoruro de azufre, en el que las varillas conductoras y el equipo están montados en una estructura de aleación de aluminio.

Conexiones exteriores

Las subestaciones con un alcance comprendido entre 35 y 750 kV suelen estar diseñadas para uso a la intemperie, al igual que la mayor parte de las barras de distribución utilizadas en la actualidad, que están fabricadas de una aleación de aluminio en forma de un conductor trenzado o tubo.

En los países industrializados existe una tendencia a construir subestaciones exteriores con aparatos de conexión metalizados aislados por el gas hexafluoruro de azufre, que ahorra cen-

siderable espacio. Con licencia de la BBC de Suiza, los Talleres Eléctricos de Ganz de Hungría empezaron la producción de estaciones de transformación de este tipo de 120 kV y 400 kV. Material de ese tipo (interruptores, conmutadores de medición, etc.) se utiliza también con eficacia en las subestaciones colectoras tradicionales.

Ingeniería química y elaboración de alimentos

Muy pronto en la historia del aluminio la ingeniería química y las industrias de alimentos se convirtieron en compradores importantes de equipo estructural, de embalaje y de almacenamiento. La utilidad del aluminio para estos fines se debe en gran medida a su resistencia a la corrosión, su falta de toxicidad, su manejabilidad, su bajo peso específico y el hecho de que en la mayoría de los casos constituye un buen sustituto del estaño. El impulso de este crecimiento, sin embargo, se ha reducido recientemente a causa de la aparición del acero inoxidable y los materiales plásticos. Estos materiales, y las reducciones de precios subsiguientes de los artículos fabricados con ellos, han influido en el mercado del aluminio los últimos 10 años. Para seguir el ritmo de esa competencia, se hicieron considerables esfuerzos con el fin de encontrar nuevas salidas para el aluminio, actualizar las anteriores y desarrollar nuevas tecnologías con el fin de producir grandes volúmenes con la máxima eficacia en función de los costos. En consecuencia, la elección de los productos de aluminio en la ingeniería química y las industrias de los alimentos está rápidamente cambiando. Los peligros de introducir nuevas innovaciones son grandes y hace falta proceder a una evaluación a fondo del mercado.

El uso del aluminio en la ingeniería química

Los progresos últimamente logrados por las industrias de la ingeniería química inorgánica y orgánica exigen unos diseños más complejos de los tanques de almacenamiento y los contenedores para el transporte. En muchos casos el cobre estañado, la hojalata o el acero emplomado ya no pueden satisfacer nuevas exigencias cada vez más rigurosas. En vista de ello, el aluminio, con sus buenas propiedades de resistencia a la corrosión y reducida densidad, ha ganado terreno en algunos sectores como la fabricación de oxígeno, ácido nítrico y ácido acético. Al principio, el elevado precio del acero inoxidable repercutió favorablemente en esta tendencia. Sin embargo, los precios del acero inoxidable se han reducido y la experiencia en la utilización práctica del aluminio se ha generalizado más. En la actualidad, esas dos

consideraciones subyacentes determinan en gran medida en qué y cómo se puede utilizar el aluminio con ventaja en la ingeniería química.

Algunos usos concretos para grandes cantidades de aluminio como material estructural en la industria de la ingeniería química son la fabricación de silos, cisternas, contenedores para el transporte y equipo auxiliar.

Los silos de almacenamiento han adquirido importancia dado que las capacidades de fabricación y elaboración de materiales plásticos están ampliándose en todo el mundo. Existe especialmente una demanda en las fábricas de CPV y de polipropileno. Sus dimensiones varían desde 150 a 500 m³; para el almacenamiento intermedio en diferentes etapas del proceso de fabricación se utilizan recipientes menores de 50 a 150 m³.

Los contenedores fijos y móviles se utilizan predominantemente en la fabricación de productos químicos ligeros, productos farmacéuticos y pinturas. Los contenedores móviles se emplean también en el transporte de ácido nítrico concentrado, ácido acético y algunos productos de la industria del petróleo (crudos, gas líquido). La fabricación de contenedores para el transporte de gas líquido exige una gran experiencia. En Hungría se han utilizado con ventaja durante más de 20 años botellas y cilindros de aluminio de 0,5 a 25 litros que se fabrican reduciendo las paredes y el espesor del fondo. Un cilindro para 25 litros pesa 3 kg menos que el fabricado con acero. Además, los cilindros de aluminio no necesitan ser pintados cada tres años.

Los enfriadores de aire en la ingeniería química suelen estar constituidos por tubos de aluminio estriados o por un tubo interior de acero o cobre a prueba de ácidos con nervadura de aluminio. Los tubos con estrías transversales plegadas se suelen fabricar en los talleres de productos semielaborados utilizando una tecnología especial. Los principales clientes de los tubos estriados con aluminio son las refinerías de petróleo y los talleres de ingeniería química donde los enfriadores de ese tipo forman parte de un sistema completo de termopermutación.

Los tubos flexibles de aluminio fabricados mediante el enrollamiento constante de los bordes de tiras de aluminio están ganando firmemente terreno para los conductos de aire en la industria de la ingeniería química. En el diseño de los tubos de lámina de sección transversal la variedad del acero con revestimiento de zinc sigue estando muy difundida, pero los tubos de aluminio, debido a su flexibilidad, se prevé también que serán bien aceptados para ser empleados dentro de las fábricas o como conductos de escape de humos.

En la ingeniería química la mayor parte de los tubos aislados han de estar dotados de un revestimiento protector adicional. Por lo general se

usan láminas de aluminio, debido a su resistencia a la corrosión y facilidad de manejo, y las láminas de acero galvanizado han sido casi totalmente sustituidas por las de aluminio.

Empleo del aluminio en las fábricas de cerveza y de productos lácteos

Durante varios siglos en la elaboración de la cerveza y de la leche se utilizó equipo de cobre estañado, madera y más tarde hojalata. El empleo del aluminio empezó en los años 30. Varios decenios de experiencia habían demostrado ampliamente que el equipo de fabricación y de almacenamiento de aluminio para las fábricas de cerveza y de productos lácteos es más económico y presenta numerosas ventajas técnicas, entre las que cabe mencionar las siguientes:

a) El aluminio no reacciona con las sustancias alimenticias, si se exceptúa una ligera reacción con la leche ácida;

b) A diferencia del equipo y de los contenedores de transporte (por ejemplo, latas de leche) fabricadas con cobre estañado o con hojalata, el aluminio no requiere ningún tipo de mantenimiento;

c) Como se presta bien a la deformación plástica y a la fusión, el aluminio es ideal para la producción en serie a bajo costo de contenedores y otros artículos (barriles de cerveza, cubas de leche).

Al utilizar el aluminio en las fábricas de cerveza y de productos lácteos, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Como materia prima sólo se puede utilizar aluminio de fundición desprovisto de cobre (con un contenido máximo de cobre de 0,1% según la Deutsche Industrie Norm (DIN) y de 0,2% a 0,3% según ciertas normas de los Estados Unidos) sea en una forma no aleada o aleada con un máximo del 3% de magnesio o una combinación de un máximo de 1% de magnesio, 1,2% de silicio y 1% de manganeso;

b) Se debe dar preferencia a los diseños de estirado profundo de una sola pieza. Los accesorios —fabricados de ser posible del mismo material que el cuerpo de fondo calado— deben acoplarse por soldadura de arco cubierto;

c) Se debe prestar particular atención a la limpieza y abastecimiento de aire fresco de los talleres y almacenes; una vez acabadas las pruebas de presión, el equipo se debe secar para evitar los efectos perjudiciales del vapor condensado. Por otro lado, al planear la disposición, conviene

recordar que el equipo de aluminio requiere un mayor espacio;

d) Las superficies internas que están directamente en contacto con la cerveza o la leche han de estar lisas (por ejemplo, mediante pulido mecánico);

e) Se pueden aplicar revestimientos orgánicos únicamente a los colores de apresto aprobados por las autoridades sanitarias. Por ejemplo, en la parte interior de los barriles de cerveza sólo se puede aplicar un revestimiento de resina a una primera capa de base de oxidación anódica de alimentación eléctrica, como la fabricada por la Fábrica de Refrigeradores de Hungría [36]. (Véase también el capítulo V.)

Todo el equipo y los contenedores para el transporte se han de mantener escrupulosamente limpios. El equipo para los productos lácteos debe ser de preferencia esterilizado con la ayuda de un vaso de agua de solución inhibida de formol; las costras de la superficie interior de las cubas de cerveza se pueden suprimir utilizando tierra de silicio empapada en una solución de dextrina, a la que se haya añadido el 10% de ácido nítrico. Esto se tiene que lavar después abundantemente con agua caliente pasadas 24 horas [37]. Se pueden utilizar con provecho la sosa y los inhibidores (soluciones que contengan metasilicato sódico u ortofosfato sódico trimetálico). La limpieza del equipo de aluminio con componentes de acero se describe en la patente número 2.948.392 presentada en los Estados Unidos [38].

Sin embargo, a pesar de sus múltiples propiedades útiles, el aluminio se ha enfrentado estos últimos decenios con una fuerte y exitosa competencia del acero inoxidable. La posición del aluminio pasó a ser precaria cuando el precio relativo del acero inoxidable disminuyó y se empezaron a utilizar nuevos detergentes [39]. La situación actual y las perspectivas para los próximos diez años pueden resumirse como sigue:

a) El aluminio mantendrá su posición en las industrias de fabricación de cerveza y productos lácteos, en los vehículos y contenedores de transporte producidos en serie (como los barriles de cerveza, nuevos tipos de contenedores de transporte de leche para almacenamiento en frío y de cubas para leche), grandes contenedores fijos o móviles, así como tanques de almacenamiento en los que se requiera una conductividad térmica especialmente buena;

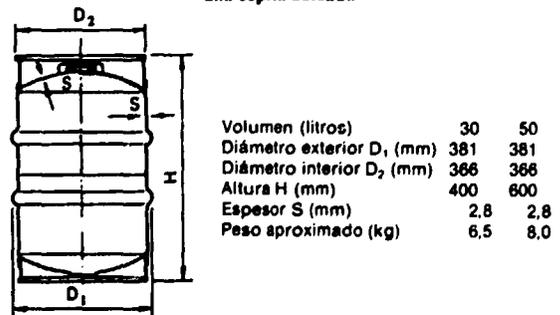
b) El acero inoxidable logrará una aceptación general para un equipo más complejo en el que se requiera una frecuente limpieza (por ejemplo, tanques de sedimentación y filtradores de leche).

Fábricas de cerveza

La mayor parte del equipo utilizado por las fábricas modernas de cerveza es de aluminio, que ha sustituido completamente a la madera y al cobre estañado. Para el almacenamiento, la fermentación y el transporte, se utilizan grandes tanques de aluminio no aleado de 5 a 10 mm de espesor. Las grandes cavidades subterráneas de fermentación y almacenamiento se enfrían utilizando permutadores térmicos y tuberías de aluminio. Los aparatos de aluminio se pueden asimismo utilizar provechosamente para la saturación de la cerveza con anhídrido carbónico. En algunos casos los recipientes de ebullición se han fabricado de aluminio, en sustitución del cobre estañado. Las alteraciones recientes de los precios relativos del aluminio y del acero inoxidable, así como la mayor facilidad con que se limpia el equipo de acero inoxidable, han ocasionado un retroceso en el uso del aluminio. No obstante, en los próximos 10 años aproximadamente, la posición del aluminio como material estructural para pequeños barriles de cerveza (de 25 a 100 litros) parece ser firme e indiscutida. Un barril de aluminio pesa sólo la tercera o la cuarta parte de un barril de madera. Por añadidura, no necesita mantenimiento.

Los barriles de cerveza de aluminio se suelen fabricar con una aleación AlMgSi endurecida por envejecimiento uniendo las dos mitades de fondo calado del cuerpo mediante soldadura de arco protegido. Por razones de protección e higiene, la superficie interior del barril está recubierta de una capa de aluminio puro al 99,8% o, después de haber recibido una capa imprimadora adecuada, se reviste con una película de resina sintética que se inculca a fuego sobre la pared interior del barril. La segunda solución mejora la resistencia química y permite utilizar el barril también para otros fines. Actualmente en Hungría se fabrican al año 100.000 barriles de cerveza de ese tipo. Recientemente se han empezado a utilizar barriles de cerveza de tipo cubeta de 30 y 50 litros diseñados en el Reino Unido [39] (véase la figura XVI).

Figura XVI. Un barril de cerveza con tres juntas circulares y una espita soldada



Fábricas de productos lácteos

En las industrias de productos lácteos la situación con respecto al equipo, por ejemplo, los contenedores, los refrigeradores y los pasteurizadores, es análoga a la de las fábricas de cerveza. Para los refrigeradores y calentadores de doble pared está ganando terreno una combinación de dos metales. El casco externo se fabrica de aluminio y el cuerpo interno, que está en contacto directo con la leche o con los productos lácteos, es de acero inoxidable. Esta combinación hace más fácil la limpieza. En los refrigeradores y calentadores el uso de tubos integrales de láminas de aluminio, las llamadas láminas "de juntas cilíndricas", está extendido. Esas láminas son fáciles de fabricar, y en la práctica resultan de una gran eficacia térmica.

Para la recogida y distribución de la leche, los bidones de aluminio han sustituido completamente a los bidones de acero estañado. Como ya no es necesario estañar cada tres o cuatro años, los bidones de aluminio de fondo calado fabricados en grandes cantidades con una alta productividad han conquistado la aceptación universal. Por razones de resistencia mecánica y de economía de material, el empleo de aleaciones de AlMn₁ y de AlMgSi endurecidas por envejecimiento en la producción de bidones y latas está aumentando. Una nueva técnica de reducción del espesor del fondo es sumamente eficaz para la fabricación de grandes series de 100.000 bidones al año.

La cadena de operaciones desde la recogida hasta el almacenamiento de la leche ha experimentado recientemente grandes cambios. La leche se ha de conservar fría en la granja hasta que se la vaya a recoger con vehículos de transporte equipados con enfriadores; esa es la razón por la que los tanques de almacenamiento y los contenedores para el transporte se han de construir con paredes dobles. Su casco externo y los termopermutadores (los serpentines y otros aparatos) pueden fabricarse de aluminio. El material interior suele ser acero inoxidable, que permite una limpieza más rápida y eficaz.

Contenedores

La hojalata solía ser un material tradicional para las latas, cubiertas, tapas y otros artículos destinados a la industria de los alimentos. Actualmente, el aluminio está sustituyendo a la hojalata. Un motivo de ello es el precio del estaño. La producción mundial de hojalata, aunque está creciendo a una tasa media anual del 9% al 10%, no basta para satisfacer la demanda mundial. En 1976 la producción mundial de estaño (con exclusión de China, la Unión Soviética y otras economías de planificación centralizada) alcanzó

un total de 178.000 toneladas para los usos finales siguientes:

Uso final	Porcentaje por peso
Hojalata	40
Soldadura	25
Cojinetes	10
Ingeniería química	8
Revestimientos de superficie	5
Otros	12

El 75% aproximadamente del material de embalaje de aluminio se utiliza para la industria de alimentos (para alimentos y bebidas en lata). Quizá en ningún otro sector es tan aguda la competencia entre el aluminio y otros materiales, especialmente la hojalata, como en el sector del embalaje. Una razón de ello es que el costo del embalaje moderno es a menudo superior al del propio producto (Cosméticos y algunos alimentos). La elección de un medio económico y técnicamente factible de embalar puede, por lo tanto, reducir considerablemente el costo general de producción*.

Los análisis efectuados a escala internacional han revelado una fuerte relación entre el PIB y los materiales de embalaje modernos de aluminio. En los países con un PIB superior a los \$1.000 por habitante, el empleo de latas para cerveza y bebidas no alcohólicas así como para las botellas de aerosoles —fabricadas predominantemente de aluminio— está aumentando a un ritmo espectacular. Sin embargo, no basta con saber que existe esa correlación para hacer oscilar el péndulo de la competencia en un sentido u otro. Si se quiere hacer una evaluación realista, se deben tomar en consideración las circunstancias nacionales, en particular la disponibilidad de máquinas y equipo para producir latas.

Las ventajas del aluminio son las siguientes:

a) Flexibilidad y manejabilidad. La resistencia mecánica del aluminio en el estado no aleado, sin embargo, es inferior a la de la hojalata. El aluminio no aleado resultaría poco económico. Incluso un espesor de 0,30 a 0,35 mm puede no garantizar una resistencia mecánica suficiente; en consecuencia, se debe utilizar una aleación;

b) La mayor resistencia a la corrosión. La cantidad anual de iones de aluminio disueltos en los alimentos debido a la corrosión es de 6 a 70 mg por kg de alimentos;

c) Esté o no la superficie interior revestida de resina, no se liberan iones metálicos tóxicos. La

*Un ejemplo típico de los beneficios que se pueden derivar de la elección de un material de embalaje adecuado es una combinación de aluminio y materia plástica que se puede fabricar para preservar la carne y las frutas. Un lote de 1.000 pesa 6 kg; 1.000 latas de hojalata de tamaño comparable pesan 50 kg [40].

superficie interior de la carne o de la carne procesada nunca se oscurece; los alimentos que contienen aminoácidos con un contenido de azufre (por ejemplo, el pescado, los guisantes y la coliflor), no experimentan una reacción sulfurosa cuando se calienta la lata;

d) El bajo peso específico, que permite grandes economías de peso, como muestra el siguiente ejemplo con respecto a la caja de 240 ml:

Material	Peso (g)
Hojalata	77
Aluminio	27
Chapa de aluminio	15

e) Las líneas de producción modernas permiten fabricar de 800 a 1.000 piezas por minuto.

La cantidad anual de latas de metal fabricadas en todo el mundo es de unas 2 a $2,1 \times 10^{11}$ piezas. Su fabricación requiere unos $8,5 \times 10^9$ m² de lámina fina de metal al año (con una tasa anual de aumento del 2,5%); de esta cantidad el 10% aproximadamente es aluminio [41].

En los países desarrollados la relación de latas de aluminio con respecto a todas las latas fabricadas en 1975 fue la siguiente:

País	Porcentaje
Estados Unidos	15,0
Francia	10,1
Italia	9,4
Alemania, República Federal de	9,3
Noruega	9,0
Reino Unido	7,0

De 1965 a 1971 la cantidad de aluminio utilizada en los Estados Unidos para la fabricación de cajas ha aumentado cuatro veces, en comparación con 1,3 veces para las latas de hojalata. Durante el mismo período la proporción relativa del aluminio ha aumentado del 1,9% al 5,9% [42].

En los cuadros 30 y 31 figura un análisis de las cifras de la producción de latas en los Estados Unidos. En el período 1968 a 1972, a pesar de que la producción total de latas de frutas y jugos de frutas — $5,8$ a $6,0 \times 10^9$ — permaneció prácticamente constante y que el número de latas de verduras y zumos de verduras permaneció también relativamente constante, el número de latas de aluminio fabricadas se elevó sustancialmente. Mientras que el número total de latas de cerveza se elevó de $1,72 \times 10^{10}$ en 1968 a $2,18 \times 10^{10}$ en 1972, el porcentaje de las latas de aluminio aumentó del 24,6% al 33,9%. Desde entonces el aumento del porcentaje de las latas de aluminio continúa. En 1980 alcanzó casi el 70% de todas las latas fabricadas de cerveza y de bebidas no

alcohólicas. En cuanto a las bebidas no alcohólicas, mientras que la producción total creció de $1,07 \times 10^{10}$ piezas en 1968 a $1,54 \times 10^{10}$ piezas en 1972, el porcentaje del aluminio aumentó del 4,8% al 11,7% [40].

CUADRO 30. UTILIZACIÓN DE HOJALATA Y ALUMINIO EN LA FABRICACIÓN DE LATAS Y CAJAS DE METAL EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1965-1971

(1965 = 100)

Año	Hojalata		Aluminio		Aluminio en relación con el estaño	
	Miles de toneladas	Índice	Miles de toneladas	Índice	Porcentaje por peso	Índice
	1965	4 407	100	85	100	1,9	100
1966	5 591	126	113	133	2,0	105
1967	4 671	106	158	186	3,4	179
1968	4 997	103	189	222	3,8	200
1969	5 149	117	246	289	4,8	253
1970 ^a	5 407	123	295	347	5,5	289
1971 ^a	5 715	130	345	406	6,0	316

Fuente: [41].

^aEstimación.

CUADRO 31. USO ESTIMADO DE LATAS EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1968-1972

(10^{12} piezas)

Tipo	1968	1969	1970	1971	1972
Hojalata					
Frutas y zumos de fruta	5,9	6,4	5,6	5,5	5,8
Verduras y zumos de verdura	10,2	9,7	10,0	9,6	9,1
Cerveza	13,8	14,5	15,5	14,6	14,4
Bebidas no alcohólicas	10,2	11,6	12,5	13,1	13,6
Varios	22,7	22,6	23,5	23,1	23,6
Subtotal	62,8	64,8	67,1	65,9	66,5
Aluminio					
Cerveza	3,4	4,2	4,7	5,9	7,4
Bebidas no alcohólicas	0,5	0,7	1,0	1,3	1,8
Subtotal	3,9	4,9	5,7	7,2	9,2
Total	66,7	69,7	72,8	73,1	75,7

Las latas de aluminio se suelen fabricar con fajas o láminas de aluminio anodizado laminadas en frío con una resina sintética o con un material plástico. La película de resina sintética mejora considerablemente la resistencia a la corrosión de la superficie del aluminio. Se utiliza una resina sintética de base epóxica fenólica o vinílica, que se seca en 30 a 40 segundos de 250° a 350°C.

En los países desarrollados el 70% de las latas de aluminio se utilizan para embotellar cerveza, zumos de fruta y otras bebidas no alcohólicas.

Como material de embalaje para la industria de los alimentos, por regla general se utilizan las aleaciones de aluminio siguientes:

Uso	Aleación	Especificación normalizada de los Estados Unidos No.
Enlatado de alimentos	AlMg _{2,5}	5052
Enlatado de bebidas	AlMg ₁ Mn ₁	3004
Cierres de apertura rápida	AlMgMn	5182 and 5082

Aunque la producción de tiras de esas aleaciones cuesta más que las tiras no aleadas, la diferencia de los costos queda compensada por la economía derivada de la mayor resistencia mecánica. Los ahorros para una tira de aluminio al 99,5% de 0,6 mm son los que se indican a continuación [43]:

Aleación	Índice comparado en Al "puro" = 1,10	Ahorro de materiales debido a la mayor resistencia mecánica (porcentaje)
AlMn ₁	1,04	28
AlMg ₁	1,16	20
AlMg ₁	1,38	32

El material de embalar de pared fina se fabrica en todo el mundo a partir de productos semielaborados laminados, es decir, hojas, tiras y láminas. El material de embalaje moderno ha de estar revestido de resina en el interior y barnizado e impreso en el exterior. Esto se realiza aplicando alguna de las dos técnicas siguientes. La primera es la extrusión en frío a partir de piezas de metal en bruto, procediéndose posteriormente al barnizado e impresión de las latas y los tubos plegables. El segundo consiste en dar a los productos semielaborados barnizados e impresos la forma deseada [44].

Latas y cajas

En la producción de latas de aluminio las dos operaciones principales son la fabricación del cuerpo y la cubierta.

La extrusión en frío [45] fue el primer procedimiento de fabricación mediante el cual se pudieron producir a partir de una pieza cajas de aluminio finas más altas que su diámetro. Para lograrlo, se somete a las piezas de 2 a 4 mm de espesor a un fuerte impacto para que se hagan maleables. El aluminio blando se desliza con gran fuerza a través del hueco que queda entre una matriz hueca fija y la punzonadora, formando de ese modo el cuerpo de la caja. Las prensas de extrusión en frío utilizadas en Europa suelen estar concebidas para 50 a 80 golpes por minuto. Debido al espesor de los fondos de las cajas (1,1 mm) y de las paredes laterales (0,3 a 0,35 mm), esta tecnología no es económica dado que las cantidades de material utilizadas son relativa-

mente grandes. La altura de las cajas queda también limitada.

Las paredes laterales de las latas y las cajas [42] producidas mediante la técnica de reducción del espesor del fondo suelen ser más cortas que los radios de sus fondos pero no pueden ser nunca más de dos veces y media mayores que el radio del fondo. Se fabrican con prensas excéntricas de 30 a 100 toneladas.

Las latas de fondo reducido utilizadas por la industria de los alimentos se fabrican por regla general con una aleación de AlMg_{2,5}, que se presta bien a la deformación plástica. Aunque el material se endurece considerablemente cuando se forma en frío, sigue siendo suficientemente plegable. En el procedimiento habitualmente se usa una franja anodizada y barnizada semidura de 0,22 a 0,30 mm. El producto resultante puede tener una forma cilíndrica, cuadrada, oval o elíptica. Si las latas se fabrican en una planta situada a cierta distancia del lugar donde se han de llenar, es preferible una forma cónica que permite ahorros de espacio y en los costos de transporte. Para una concididad de 6° esos ahorros de espacio pueden ascender al 70%.

Las paredes laterales de las latas se refuerzan a veces con rebordes para que sean mayores. A las fajas aleadas de 0,25 a 0,30 mm se les aplica un revestimiento constante por bobina de laca.

Por lo general existen latas de 100 a 350 ml, con las superficies interiores barnizadas y las superficies exteriores barnizadas o impresas.

La demanda reciente de latas de fondo de espesor reducido ha sido tal que el Ministerio de Pesca de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas ha establecido una instalación de barnizado de tiras de aluminio de 12.000 toneladas al año en Dmitrovo conjuntamente con una fábrica en la que se producen latas para pescado redondas y ovales de fondo bajo reducido y tapas arrancables. La Empresa Estatal de la Pesca Marina de la República Democrática Alemana cuenta con una planta semejante en Stralsund [41, 46]. En Francia, Noruega y Suiza se utilizan extensamente latas de aluminio de pequeña capacidad de 100 a 200 ml para envasar pescado, pastas y leche.

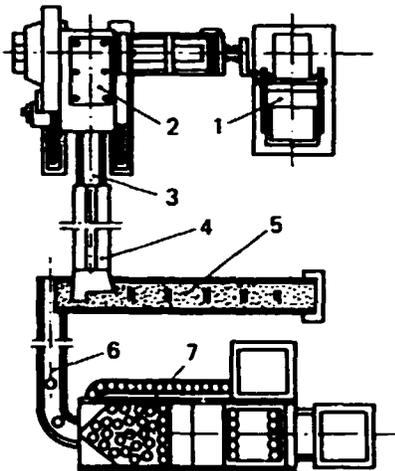
El consumo mundial de tiras de aluminio finas utilizadas para fabricar latas para alimentos es de 200.000 a 250.000 toneladas al año, que sustituyen a unas 400.000 toneladas de hojalata.

A pesar de la gran diferencia de peso específico de la hojalata y del aluminio, debido al bajo rendimiento de la tecnología de reducción del espesor del fondo motivado por la gran producción de chatarra, un kilo de aluminio puede sustituir a dos kilos de hojalata [47, 48]. La mayor parte de las latas son fabricadas por las propias fábricas de conservas, pero muchas las

fabrican productores especializados de cajas de aluminio.

Las líneas de producción automática de latas con fondo reducido funcionan con gran eficiencia. La operación básica de las fábricas que utilizan el aluminio es más sencilla que la elaboración de la hojalata, que incluye el corte, la formación del casco, la soldadura, el embridado y el tapado. En consecuencia, cabe instalar y hacer funcionar simultáneamente con gran ahorro de espacio varias prensas para servicio intenso. En la figura XVII se muestra una línea de producción moderna de 200 piezas por minuto alimentada por láminas de aluminio cortadas a medida.

Figura XVII. Línea de producción automática para la fabricación de latas y cajas de estirado profundo (sistema Karges-Hammer)



Clave:

- 1 Dispositivo alimentador
- 2 Prensa automática
- 3 Alimentador
- 4 Receptáculo
- 5 Transportador
- 6 Transportador
- 7 Máquina de carga

Las láminas de aluminio se colocan primero sobre un dispositivo alimentador (1). Para facilitar la reducción del espesor del fondo e impedir que las láminas se desgarran, es preciso lubricar las superficies de las láminas. La prensa automática (2) perfora las láminas y los discos resultantes son de sección transversal reducida. El material de desecho se retira de los bordes y se disipa soprándolo fuera. Las latas pasan luego a través de otro alimentador (3) a un receptáculo (4) y son transportadas por un trineo de carga (5) a otra cinta transportadora (6) que los conduce hasta una máquina de carga (7) que los apila sobre bandejas en series regulares. Los desechos recogidos son aplastados y despachados para que sean refundidos.

Las latas y las cajas con diámetros inferiores a 90 mm han de ser sometidas a un estirado profundo por medio de prensas especiales que funcionan con 2 a 10 cabezas simultáneamente y que producen latas y cajas a un ritmo de 200 a 1.000 piezas por minuto.

El estirado profundo para la reducción de las paredes (planchado) con esta tecnología requiere que las latas para bebidas que contienen ácido carbónico se fabriquen con una altura que sea de 1,5 a 3 veces el diámetro. El espesor original de la franja natural no barnizada de Almg₂, o de AlMgMn es de 0,30 a 0,50 mm. Los discos de la cinta se cortan primero y a partir de ellos se extraen pequeñas curvaturas. Luego esa curvatura se estira a fondo hasta convertirla en un casco cilíndrico de una manera convencional. A continuación se procede al estirado profundo para reducir la pared. La pared del casco se estira a través de tres a cinco anillos, el fondo se eleva ligeramente y las partes inferior y superior del material quedan reforzadas. En esta operación el diámetro del casco se reduce ligeramente en un 2% o un 3% y la altura se alarga en más de tres veces. La línea de producción funciona a un ritmo mínimo de 200 piezas por minuto, aunque las líneas modernas de gran intensidad de trabajo pueden producir hasta 600 a 650 piezas por minuto.

Las dimensiones de lata más comúnmente utilizadas se pueden producir mediante la tecnología moderna de reducción de las paredes. El fondo de una lata de cerveza de 12 onzas (0,35 l) es de 0,34 mm de espesor y su casco (con excepción de su parte inferior y superior de 0,30 mm) es de 0,125 mm de espesor. Pesa 9 g. Su pared tiene una resistencia a la tracción de 170 N/mm². El peso de una caja extrudada en frío comparable es de 23 a 32 g.

Las latas con pared reducida son a continuación desengrasadas. La parte exterior del casco es acondicionada con esmalte y pasada a través de rodillos de caucho para su impresión. La parte interior de la lata es revestida con resina epoxídica y tanto la parte interior como la exterior son lacadas en caliente en una única operación. Por último, el casco es embridado para que la capa se pueda sujetar firmemente después del llenado. Este procedimiento saca el máximo partido de las propiedades mecánicas del aluminio. Se pueden producir latas de cualquier tamaño y altura, capaces de contener bebidas con ácido carbónico en un medio ambiente totalmente esterilizado [49].

Las fajas de aluminio utilizadas en el proceso no tienen que estar revestidas de bobinas, pero las normas técnicas son muy estrictas. Esta tecnología está ganando terreno especialmente en los países desarrollados donde el uso de latas de estirado profundo que reduce las paredes está aumentando

a un porcentaje medio anual del 15% al 20%. En el cuadro 32 se indica el consumo en los Estados Unidos en 1973 y 1974.

CUADRO 32. EMPLEO DE LATAS DE ESTIRADO PROFUNDO CON PAREDES REDUCIDAS EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1973 Y 1974

Uso final y material	Consumo (millones piezas)		Cambio (porcentaje)
	1973	1974	
<i>Bebidas no alcohólicas carbonicas</i>			
Hojalata	15 862	15 482	-2,4
Aluminio	1 731	2 017	+16,5
<i>Cerveza</i>			
Hojalata	14 959	14 017	-6,3
Aluminio	8 905	11 862	+33,2
Total	41 457	43 378	+4,6

Fuente: [50].

A continuación se indica una clasificación de los materiales de embalar para bebidas en los Estados Unidos:

	Porcentaje
Latas de aluminio	30
Latas de hojalata	30
Botellas de vidrio	40

Según la información facilitada por un fabricante de cerveza de los Estados Unidos, en 1968 los gastos de inversión para una instalación de 50 millones de piezas al año ascendieron a 2 millones de dólares. Los gastos de inversión de una línea de producción más moderna ($1,3 \pm 10^9$ piezas al año) fueron de 15 millones en 1980.

Las latas de aluminio para bebidas se fabrican con tapas especiales de fácil apertura. Actualmente en los Estados Unidos se utilizan 770.000 toneladas de aluminio para fabricar latas para bebidas, cifra que representa el 12% del consumo total de aluminio del país. El rápido ritmo al que las latas de aluminio para bebidas han ganado terreno puede atribuirse en gran medida a las economías derivadas de la recuperación. Esto se logra por medio de laminadoras modernas de tira ancha y fundición continua como la instalada en la principal fábrica de cerveza de los Estados Unidos. Esa laminadora produce 4 ± 10^9 latas y cierres al año, utilizando unas 100.000 toneladas de aluminio. La laminadora de tira ancha y fundición continua instalada en la fábrica de cerveza utiliza una tecnología elaborada por Alusuisse y procesa aproximadamente la mitad (unas 50.000 toneladas) de todo el aluminio utilizado por la fábrica anualmente en la fabricación de latas.

En 1977 una empresa del Reino Unido lanzó una campaña experimental para recuperar las latas de aluminio utilizadas de 5.000 familias. Los resultados fueron muy satisfactorios.

Tapas

El diseño de las tapas de las latas de aluminio es análogo al de las de hojalata. Las tapas de las latas deben abrirse o arrancarse fácilmente. Existen dos tipos de tapas que se arrancan: las tapas de las latas de cerveza y de bebidas no alcohólicas están diseñadas para que se quite una parte de ellas, mientras que las tapas de las latas para carne, pescado y verduras se pueden abrir o retirar completamente. En medio de las partes superiores de las latas que se pueden abrir parcialmente existe una incisión de forma de cuña ligeramente hundida de 0,09 mm de espesor, provista de una orejeta remachada. Cuando la orejeta se levanta la superficie se rompe y la parte superior de la lata se abre cuando se tira del anillo.

En los diseños anteriores de las tapas de latas que se podían abrir completamente existía una depresión en espiral de 1,5 a 2 giros que iba del centro de la parte superior hacia el extremo de la tapa, con una orejeta arrancable remachada en el centro. Ese diseño tenía las siguientes desventajas:

- El troquel a presión necesario para fabricar la tapa era complicado y costoso;
- La superficie que se arrancaba era demasiado larga;
- Existía el peligro de cortarse los dedos o las manos;
- El diseño de espiral menoscababa la rigidez de la tapa.

En los diseños más nuevos la tapa es fina sólo a lo largo de la circunferencia de su reborde. La lata no se abre por medio de una oreja remachada sino con una cortadora, que actúa como una palanca de dos brazos. Las tapas de arranque se fabrican con una aleación AlMg_{4,5}Mn (ASTM 5182 H19). Tienen un espesor de 0,3 a 0,5 mm y están revestidas por un lado de una resina epóxica. Tienen una resistencia a la tracción de 300 a 370 N/mm² y un límite de elasticidad que oscila entre 270 y 330 N/mm².

Tapas de tarros

En la conservación de alimentos en jarros de vidrio, se plantean problemas técnicos cuando esos jarros están cerrados herméticamente con tapas de hojalata. Cuando algunos alimentos se calientan, el azufre que se libera puede reaccionar con el hierro de la hojalata formando unos compuestos sulfurosos negros desagradables que manchan la superficie de la tapa. Las tapas de aluminio superan esa dificultad. Se fabrican de dos tipos, cortadas de tiras de aluminio de 0,15 a 0,25 mm, laqueadas por un lado e impresas por el otro.

Los tres tipos principales de que se dispone son para alimentos calentados a una temperatura inferior a 100°C, para alimentos en salmuera y

para alimentos calentados a temperaturas superiores a 100°C.

En Europa las láminas de aleación de aluminio a partir de las cuales se fabrican las tapas se suelen laquear utilizando un difusor del Reino Unido, se imprimen con una prensa de colores múltiples fabricada en la República Federal de Alemania y se queman en hornos fabricados también en la República Federal de Alemania. La lámina laqueada e impresa se corta en tiras utilizando una cizalla circular italiana. A continuación las tapas se forman y embriadan. Por último, se aplica un producto de sellado y se seca en la estufa utilizando equipo y un horno de la República Federal de Alemania.

La tapa se fija con ayuda de una máquina de una a 10 cabezas que tiene una capacidad de 1.200 a 15.000 piezas por hora. (Existen también tapas de uso múltiple, fabricadas en la República Federal de Alemania, que se sujetan con máquinas de 3, 6 y 9 cabezas y cuyo rendimiento oscila entre 800 y 12.000 piezas por hora.)

Cierres de botellas

Las tapas o chapas tradicionales de hojalata que se utilizan para cerrar las botellas de bebidas no alcohólicas y de cerveza no han sido todavía sustituidas económicamente por el aluminio. Sin embargo, se han ideado varios otros cierres especiales de aluminio para botellas que se han introducido en gran escala.

Las tapas a rosca de aluminio se utilizan en botellas para bebidas alcohólicas. Las tapas están dotadas de anillos de control que se rompen cuando se utiliza la botella por primera vez. Las tapas se fabrican a partir de cintas de aluminio al 99,5% de 0,15 a 0,25 mm de espesor, que es excelente para un estirado profundo de una o múltiples etapas. El interior está revestido de resina expóxica y de una laca adhesiva de cierre. El exterior está revestido de laca e impreso. El costo es aproximadamente la mitad o la tercera parte de los corchos convencionales.

Algunas tapas de aluminio son de un diseño más sencillo y están dotadas de una oreja que se arranca. Por regla general se emplean para cerrar botellas de vidrio de 5 a 10 centilitros y se fabrican a partir de una tira estrecha de aluminio liso de 0,18 mm. Han ganado asimismo terreno como cierres de las botellas de plástico de 0,5 a 1,0 litros y de botellas de vidrio en Francia [47].

Tubos plegables

Gran parte del aluminio utilizado en el embalaje adopta la forma de tubos plegables que se desechan. Estos tubos son higiénicos, baratos y considerablemente más ligeros que otros embalajes tradicionales. Garantizan una protección eficaz

contra las influencias químicas y físicas nocivas del medio ambiente.

Estos tubos se fabrican por extrusión en frío a partir de piezas de aluminio con un diámetro de 3,5 mm cortadas de una tira de fundición constante del 99,5% al 99,7%. Se dispone de tubos plegables para 50, 100 y 200 g. Estos tubos tienen un espesor de 0,11 mm, y son herméticos, sin costura, resistentes al calor, irrompibles, flexibles y esterilizables. La apertura puede ser cerrada para alimentos y abierta para cosméticos y productos de limpieza domésticos. Para la decoración de alimentos (con mahonesa, pasta para bocadillos, nata), la apertura puede ser de forma de estrella. La parte externa se puede imprimir con diseños de múltiples colores, textos o lemas publicitarios. La superficie interior está revestida con dos capas de película de resina sintética de base expoxidica aplicadas en caliente de 6 µm de espesor.

Las dimensiones habituales de los tubos plegables son de 30 × 150 mm para 80 g y de 40 × 180 mm para 150 g. Los tubos plegables se pueden utilizar para productos como pasta de tomate, condimentos a base de pimentón y de tomate, mostaza, ajo en polvo, mahonesa, pasta de carne, pasta de anchoas, leche concentrada, queso, crema, cacao, salsas, pasta de hígado, confituras, mermeladas, helados y zumos. La industria de alimentos absorbe aproximadamente el 10% de los tubos plegables totales [51]. En Hungría, a largo plazo, cabe prever que esta cifra se elevará al 25%.

Para reducir los gastos de transporte, se están poniendo a punto tubos plegables cónicos. Con estos tubos se podrá obtener de un 30% a un 40% de ahorro en el espacio de transporte.

Existe un espectacular crecimiento en el empleo de tubos plegables de aluminio en todo el mundo, tanto para alimentos como para cosméticos o productos químicos para el hogar. En la República Federal de Alemania el número total de tubos plegables fabricados en 1976 fue de 1.230 millones de piezas, de los cuales 1.100 millones eran de aluminio. En los Estados Unidos en 1970 se fabricaron unos 1.120 millones de tubos plegables para productos farmacéuticos y cosméticos y el 67% de esos tubos era de aluminio.

Debido a que ni siquiera un doble revestimiento de resina en la parte interior puede proteger completamente a los alimentos contra la corrosión, se está trabajando con un nuevo tipo de tubo de aluminio plegable, que tiene las características del material plástico para aumentar la protección [52]. Este tubo consta de tres capas superpuestas:

a) Una capa de polietileno interior de 0,050 a 0,100 mm para aumentar la resistencia a la corrosión, que contribuye a mantener más largo tiempo la calidad del alimento y hace al tubo plegable adaptable para la soldadura;

b) Una capa media de aluminio de 0,020 a 0,050 mm que constituye una barrera contra los gases y vapores y le protege de la luz;

c) Un revestimiento externo de polietileno de 0,050 a 0,100 mm que le protege contra el medio ambiente y permite la soldadura y la impresión.

Los rollos de láminas resultantes pasan luego a formar tubos y envolturas externas soldados con corriente de alta frecuencia. Una vez lleno, el orificio del tubo plegable se cierra herméticamente por soldadura. Textos y dibujos de colores múltiples se imprimen en la capa externa de lámina de plástico impregnada de un colorante blanco y sobre ella se aplica una película de barniz transparente.

La capacidad de una línea de producción de ese tipo es de 600 a 1.000 piezas por minuto. Este procedimiento es relativamente sencillo y requiere menos operaciones que la fabricación de tubos plegables a partir de lingotes convencionales.

En el cuadro 33 se indican las propiedades de los tubos plegables fabricados con aluminio, materia plástica y materiales combinados.

CUADRO 33. PROPIEDADES DE LOS TUBOS PLEGABLES

Propiedad	Aluminio y materia plástica combinados		Materia plástica
	Aluminio	Aluminio	
Protección contra la luz	+	+	-
Hermeticidad al vapor	+		
Resistencia a los ingredientes corrosivos de:			
Pasta de dientes	+	0	-
Pasta de dientes de fluoruro	+	+	-
Mostaza, pasta de tomate	+	+	-
Deformación permanente al vaciarse	+	+	-
Vulnerabilidad del tubo vacío	0	-	+
Posibilidad de adoptar la forma cónica	+	+	-
Posibilidad de impresión circular	-	+	+

Nota: + = favorable
0 = media
- = desfavorable

Hoja de aluminio

Embalaje

La hoja de aluminio ha sustituido completamente a la hoja de estaño para el embalaje.

La tasa media de aumento anual de producción de hoja de aluminio es del 10% al 12%, pero la de las hojas de aluminio laminadas y de acabado superior así como las combinaciones de hoja de aluminio-plástico es aún mayor. En la actualidad

la industria de alimentos representa del 60% al 70% del consumo mundial total.

Para mejorar sus propiedades, la hoja de aluminio se combina a menudo con otros materiales (papel, papel pergamino, materias plásticas) y recibe revestimientos protectores lisos o impresos de lacas coloreadas o incoloras a prueba del calor y revestimientos delgados fundidos al calor. Una combinación de estos materiales puede producir una gran variedad de tipos de productos y la industria de los alimentos es su mayor consumidor. En el cuadro 34 se indican los usos finales en la industria de los alimentos de las hojas de aluminio y de combinaciones con otros productos.

CUADRO 34. EMPLEO DE HOJAS DE ALUMINIO POR LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

Tipo de hoja	Uso final
Hoja lisa	Industria de la pastelería, usos domésticos, bandejas para alimentos preparados
Hoja diseñada con revestimiento de laca coloreada o transparente	Industria de la pastelería (chocolates, postres, bombones), envoltura de tapas de botellas de vino
Hoja con revestimiento de laca coloreado o transparente fundido en caliente	Industria de productos lácteos (envoltura de quesos)
Hoja dura con revestimiento de laca fundido en caliente, impresa	Industria de conservas (tapas de tarros de confitura y mermelada)
Hoja blanda con revestimiento de laca fundido en caliente, impresa	Industria de productos lácteos (cierres de envases de leche y productos lácteos)
Combinación hoja de aluminio-papel pergamino, laminada por vía húmeda, impresa	Industria del tabaco (envolturas de cigarrillos), bolsas de café y especias
Combinación hoja de aluminio-papel pergamino, con matriz de cera	Industria de productos lácteos (envolturas de mantequilla y requesón), industria de aceites vegetales (envolturas de margarina)
Combinación hoja de aluminio-papel, laminada por vía húmeda, con revestimiento fundido en caliente, impresa	Industria de la repostería (barquillos rellenos y galletas)
Combinación, hoja de aluminio-papel-película de polietileno, laminada en seco y por vía húmeda, impresa	Sobres de sopas secas y condimentos
Combinación hoja de aluminio-película de plástico sencilla o doble, laminada en seco, impresa	Industria de las conservas (zumos de frutas)

Bandejas

Las bandejas de hoja metálica para el servicio comercial de comidas se utilizan para guardar alimentos preparados, frutas, legumbres y hortalizas y productos de panadería y confitería. Se fabrican a partir de fajas lisas o ligeramente plegadas duras de 0,03 a 0,08 mm y no están laqueadas o están laqueadas sólo de un lado. Aunque están selladas con rebordes o de otro modo, las bandejas no son herméticas.

La principal ventaja de las bandejas de hoja dura, además de que preservan la calidad y el aroma de los alimentos, consiste en que el plato preparado se puede calentar y cocer, y luego comer, en la propia bandeja. Debido a su manipulación fácil e higiénica, ha conquistado una aceptación universal en su competencia con los plásticos. En 1970, en los Estados Unidos, se utilizaron 4.500 millones de esas bandejas de hoja metálica para alimentos preparados [54]. El almacenamiento y la clasificación de los alimentos preparados en bandejas de hoja de aluminio para los servicios de comidas comerciales, sin embargo, requieren una cadena bien organizada de instalaciones de almacenamiento en frío desde el productor hasta el mercado.

Copas esterilizables y pequeños envases

Estos envases, con una profundidad máxima de 30 a 35 mm, se fabrican en una única operación de diseño de fondo con espesor reducido a partir de una tira de aleación AlMn o de aluminio del 99,3% al 98,7% de 0,05 a 0,1 mm; están revestidos interiormente con una película de polietileno o de polipropileno de 0,05 mm. Estos envases pueden ser cilíndricos, cuadrados, ovales o elípticos. Los principales usos finales se resumen en el cuadro 35.

Las capas y los pequeños envases de polietileno-hoja de aluminio laminada de 0,07 a 0,18 mm son semirrígidos y, cuando están vacíos, pueden sufrir daños. Se fabrican de alguna de las dos maneras siguientes. Primeramente, el moldeado y relleno del cuerpo, así como la fabricación y sellado de la tapa, se llevan a cabo con una única máquina independiente. El envase se cierra a

CUADRO 35. COPAS Y PEQUEÑOS ENVASES DE HOJA COMBINADA ESTERILIZABLES

Forma	Capacidad (cm ³)	Espesor la pared (mm)	Contenido
Copa	60-110	0,05-0,07	Helado, requesón
Estuches	30-130	0,10-0,15	Carne y pescado elaborados, crema de frutas, confitura, mermelada, miel, queso
Plato	150-1 300	0,07-0,09	Pastas, pasteles de frutas, bollos, alimentos congelados

Fuente [41]

240°-260°C y a una presión de 6 a 8 atm en dos segundos. La máquina produce por minuto de 80 a 120 envases con una capacidad de 20 a 50 ml o de 50 a 80 envases con una capacidad de 50 a 130 ml.

Los envases se pueden esterilizar en autoclaves. Sus cuerpos y tapas no se tienen que transportar y, como el proceso de fabricación se lleva a cabo en el mismo lugar, se reducen los daños. La producción anual de la máquina es de 20 millones de unidades de 100 cm³, lo que corresponde a 120 toneladas de hoja laminada por año.

Cuando las condiciones no permiten el moldeado y llenado de los envases en los mismos locales, se puede utilizar un aparato que envía los cuerpos y tapas de los envases sobre plataformas de cargas separadas a la máquina de alimentación, donde los cuerpos se levantan y cargan automáticamente y las tapas se colocan y cierran firmemente.

Recientemente se han concebido varias otras combinaciones de hoja de aluminio para el envasado de alimentos en conserva. Las bandejas de plástico con tapas de aluminio fundido en caliente se utilizan en las fábricas de conservas de alimentos para envasar confituras y mermeladas. Mediante el moldeado en vacío de tiras de CPV o de poliestireno, se fabrican pequeños envases de 50, 100 y 200 ml de capacidad, llenados y cerrados firmemente con una tapa de aluminio enlacada, fundida en caliente e impresa. Otro sistema de envasar conocido utiliza hojas de aluminio duro al 99,5% de 0,03 a 0,05 mm de espesor. La hoja se recubre por fuera con una laca de 1 g/m² que resiste temperaturas de hasta 180°C y por dentro con una película de laca fundida en caliente de 5 a 8 g/m².

Termopermutadores

Hace unos diez años aparecieron en el mercado los primeros tubos de aluminio acanalados destinados a la ingeniería térmica y a la refrigeración. Dentro de los tubos circula un gas o líquido transmisor del calor, como vapor o agua, al mismo tiempo que el aire circula en dirección vertical a los tubos. Como el aire tiene unas malas cualidades de transmisor del calor, del lado del aire se requieren canales. Al elegir un material de canalización adecuado, se han de tener en cuenta la conductividad térmica, la densidad y el precio relativo, como se indica en el cuadro 36. Se observará que el aluminio es el que tiene el menor peso específico. El cobre posee la máxima conductividad térmica; sin embargo, cuesta seis veces más que el acero. El aluminio ocupa el segundo lugar como conductor y su precio es sólo el doble que el del acero.

CUADRO 36. CARACTERÍSTICAS DE LOS METALES UTILIZADOS PARA LOS PERMUTADORES TÉRMICOS

Metal	Densidad (g/cm ³)	Conductividad térmica (Kcal h ⁻¹ m ⁻¹ K ⁻¹) (aluminio = 1)	Precio relativo
Lámina de aluminio al 99,5%	2,7	182	1,0
Lámina de aleación de aluminio	2,7	142	1,3
Lámina de cobre	8,3	326	3,0
Lámina de acero	7,8	50	0,5
Lámina de acero aleado	8,0	13	0,8

Desde un punto de vista económico, por lo tanto, el aluminio es obviamente el mejor material para utilizarse como canalizador de los permutadores térmicos. El cobre es un mejor conductor térmico pero lo que podría designarse como su tasa específica de transmisión de calor, debido a su mayor densidad, es un 60% inferior a la del aluminio (véase el cuadro 37). La tasa del acero es aún inferior: 85% menos que la del aluminio. (Las comparaciones se refieren únicamente a los canales y no al permutador térmico completo.)

CUADRO 37. TASA ESPECÍFICA DE TRANSMISIÓN DEL CALOR EN LOS CANALES FABRICADOS CON DISTINTOS MATERIALES

Material	Tasa específica de transmisión del calor (Kcal h ⁻¹ kg ⁻¹)	Tasa relativa (aluminio = 1,00)
Hoja de aluminio al 99,5%	3 400	1,00
Hoja de aleación de aluminio	3 000	0,88
Hoja de cobre	1 250	0,367
Hoja de acero	500	0,147
Hoja de aleación de acero	250	0,074

Permutadores térmicos para la pequeña industria y usos domésticos

El aluminio puede sustituir a otros metales no ferrosos utilizados para los permutadores térmicos y es superior a ellos. Se presta excelentemente a la deformación plástica y es por ello un material ideal. En los termostatos en que el medio calentador circula a lo largo de superficies planas, se forman espacios limitrofes a lo largo de esas superficies. Esos espacios influyen fuertemente en la transferencia del calor: cuanto más espeso es el espacio límite, menos eficaz es la transferencia calorífica. El espesor del espacio limitrofe aumenta con la distancia de los bordes de ataque de las hojas, reduciendo de ese modo gradualmente la transferencia local de calor.

En los radiadores convencionales de hierro fundido o plancha de acero de los sistemas de

calefacción central, el aire circula hacia arriba a lo largo de las superficies planas de los radiadores; en consecuencia, el coeficiente de transferencia calorífica de la superficie del radiador tiende a disminuir con el aumento de su altura.

La reducción gradual del coeficiente de transferencia calorífica a lo largo de las superficies de un radiador largo y plano se puede contrarrestar mediante una serie de pequeños cortes de las tiras estrechas como ranuras de las hojas del radiador que resaltan ligeramente de la superficie plana del cuerpo del radiador, creando un radiador con pequeños canales que posee un coeficiente muy superior de transferencia térmica al de los radiadores tradicionales. Aunque los pequeños canales tienden a aumentar la resistencia de la estructura del lado del aire, en condiciones idénticas de ventilación el diseño de pequeños canales transferirá más calor que el radiador tradicional.

En la ingeniería eléctrica los permutadores térmicos y los componentes de refrigeración del conocido sistema de condensación del aire Heller-Forgó se basan en el mismo concepto. El diseño permite que el equipo de las centrales eléctricas se emplace en zonas áridas (incluso en desiertos). El agua condensada necesaria para el funcionamiento de las turbinas de vapor circula en un sistema cerrado y de aire refrigerado con ayuda de elementos de refrigeración de aluminio.

Los elementos de refrigeración constituidos por pequeños canales, sin embargo, se pueden utilizar ventajosamente no sólo en las centrales eléctricas. Pueden también emplearse en varios otros campos, por ejemplo, los oleoductos para petróleo y gas natural que utilizan refrigeradores de petróleo, gas o agua en las centrales de compresión emplazadas en zonas áridas y para el enfriamiento del aire en las industrias de ingeniería química.

Radiadores de motores

En la industria del transporte ha habido un aumento en el uso del aluminio para fabricar pistones, bloques de motor de hierro fundido y otros componentes. El uso del aluminio en los sistemas de enfriamiento de agua y petróleo, sin embargo, es una innovación relativamente reciente, aunque la idea no es nueva. Hacia el final de la Segunda Guerra Mundial y en los primeros años de posguerra, la industria aeronáutica utilizó permutadores térmicos de metal ligero y enfriadores por aceite de aluminio. En el transporte de superficie, sin embargo, esas innovaciones nunca se establecieron, debido a la fuerte competencia de los enfriadores de cobre más duraderos.

En los permutadores térmicos de los vehículos de transporte, el aluminio hace su aparición por primera vez en las plaquitas de los enfriadores de

agua empleados en los trenes de motores diesel y en los motores diesel. Para enfriar los motores de los vehículos de transporte, el aluminio es el segundo mejor conductor térmico después del cobre.

Los recientes cambios introducidos en el diseño de refrigeración de automóviles tienen dos objetivos. Por un lado, se intenta aumentar la cantidad de calor dispersado por unidad de volumen de enfriado con el fin de incrementar el potencial de los motores de los automóviles. Por otro lado, se están haciendo grandes esfuerzos para reducir el peso total de los vehículos, aunque sea sólo de unos pocos gramos para un componente determinado, con el fin de evitar el aumento y, de ser posible, conseguir una reducción del consumo de combustible a pesar del mayor rendimiento del motor. Ello requiere, obviamente, una reducción del peso del enfriador de agua, y está en marcha la puesta a punto de nuevos enfriadores de motores más económicos.

Condicionamiento y refrigeración del aire

En el sector del condicionamiento y la refrigeración del aire, el aluminio está desplazando gradualmente a los permutadores térmicos con canales de cobre y en la actualidad es el único material que se utiliza en los evaporadores. Las plaquetas de evaporación de aluminio se fabrican con tubos completos mediante una tecnología conocida como ligamento de las láminas o ligamento en Z. En el ligamento de las láminas, dos láminas de aluminio se unen mediante soldadura; pero antes de proceder a esta operación, sobre las láminas se pinta el trazado de la futura red de tubos. Cuando las dos láminas se unen, el trazado no desaparece; las láminas se hinchan ligeramente por medio de aire comprimido y los tubos resultantes se dotan con los accesorios adecuados. El ligamento en Z es similar, pero no se hace por laminación sino mediante soldadura, fundiéndose por último los conductos.

Energía solar

Recientemente el uso directo de la energía solar para la calefacción ha despertado mucho interés entre el público. El calor de la energía solar se puede emplear para calefacción, enfriamiento o generación de energía eléctrica.

La parte principal de una central de energía solar es el colector, cuya superficie de absorción de las radiaciones se puede fabricar de aluminio debido a su gran conductividad térmica. A causa de su buena resistencia a la corrosión, el aluminio se utiliza también para fabricar el marco y la superestructura del colector.

Aplicaciones diversas

En algunos sectores las ventajas financieras producidas por la sustitución de otros metales por el aluminio son indirectas y menos evidentes. A continuación se dan varios ejemplos.

Piezas de fundición

Durante el período 1974-1977 una media anual del 20% del consumo mundial de aluminio se dedicó a la fabricación de piezas de fundición. De los 2,5 millones de toneladas de piezas de fundición producidas anualmente, alrededor del 60% al 70% se utilizaron como componentes para vehículos de transporte, especialmente motores de automóviles. Según ciertos cálculos, en el decenio de 1970 en todo el mundo se fabricaron al año unos 30 millones de automóviles de turismo y motos y se utilizaron aproximadamente 1,2 millones de toneladas de piezas de fundición de aluminio. Las previsiones indican que el tipo de materiales estructurales que se emplearán en la fabricación de automóviles de turismo se modificará considerablemente [55]. Se producirá una tendencia hacia un mayor ahorro de energía, y una forma de lograrlo consistirá en reducir el peso de los componentes. Consecuentemente, a plazo medio, cabe prever un nuevo progreso en el empleo de piezas de fundición de aluminio, primeramente para sustituir al hierro y al acero y en menor grado al cobre y al zinc (véase el cuadro 38).

En la Conferencia Internacional sobre el Aluminio y el Automóvil, organizada por la Central del Aluminio de la República Federal de Alemania los días 22 y 23 de marzo de 1976 se examinaron el consumo actual y futuro, las características técnicas y los métodos de fabricación de las piezas de fundición de aluminio [56].

CUADRO 38. CANTIDAD PREVISTA DE MATERIALES ESTRUCTURALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE AUTOMÓVILES DE TURISMO, 1975, 1980 Y 1990

Material	1975		1980		1990	
	(kg)	(porcentaje)	(kg)	(porcentaje)	(kg)	(porcentaje)
Piezas de fundición de hierro y acero	1 210	77	830	67	614	56
Aleaciones de aluminio	45	3	107	8,6	390	35
Plásticos	55	4	95	7,6	127	11,5
Aleaciones de cobre	15	1	11	0,9	7	0,6
Aleaciones de zinc	13	1	5	0,4	3,6	0,3

Fuente: [55].

Existen varias razones para prever un aumento del uso de las piezas de fundición de aluminio. El aluminio puede fundirse hasta altas cotas de tolerancia; las piezas de fundición son fácilmente intercambiables y no requieren ningún trabajo a máquina adicional después de la fundición. Se pueden producir mediante diversas técnicas modernas en grandes series con una mano de obra relativamente reducida.

Las técnicas de fundición mecanizadas más eficaces son la fundición a troquel y la fundición en matriz a alta presión, a baja presión y contra-presión. Sin embargo, las técnicas convencionales de la fundición colada a presión por gravedad o en moldes de arena pueden mecanizarse fácilmente. En el cuadro 24 se indicó una idea aproximada de los gastos de capital que entraña el establecimiento de una fundición de metales ligeros. Los gastos de inversión para las fundiciones de metales ligeros son considerablemente inferiores a los de las modernas fundiciones de acero. Como regla práctica se puede indicar que hasta mil piezas la fundición en molde de arena es más económica. Para 1.000 a 10.000 piezas la fundición colada a presión por gravedad resulta más económica. Para las series mayores existen tecnologías de fundición a presión por troquel más económicas. En casos extremos, por ejemplo cuando se exige estrictamente el hermetismo, o en casos en los que se requieren técnicas especiales de torneado o de tratamiento de la superficie, la fundición mecanizada a presión al troquel puede resultar más económica, incluso para series menores. En el cuadro 39 figura una clasificación de las principales técnicas de fundición en diferentes regiones del mundo. En el cuadro 40 se indican las características técnicas de las piezas de fundición fabricadas mediante esos métodos.

La fundición de aluminio tiene la clara ventaja de que el paso de una tecnología a otra es un

CUADRO 39. CLASIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES TÉCNICAS DE FUNDICIÓN, 1970-1974

(Porcentajes)

País o agrupación de países	Fundición		
	en molde de arena	manual a presión por gravedad	Fundición mecanizada
Estados Unidos	14	22	64
Países desarrollados de Europa occidental	20	40	40
Países moderadamente industrializados ^a	35	45	20
Países en desarrollo ^a	45	50	5

^aEstimaciones.

procedimiento relativamente sencillo. Por ejemplo, en Hungría los bloques de motor diesel de 110 kg se fundían originalmente en molde de arena; cuando este procedimiento dejó de resultar económico, se sustituyó por la fundición a presión por gravedad mecanizada [58] y en la actualidad todos los años se funden 10.000 bloques de motor utilizando este método. El paso de un sistema a otro ocasionó unos gastos de capital relativamente pequeños y la compra de una maquinaria costosa de fundición a alta presión no resultó necesaria. Las piezas de fundición pueden protegerse contra el desgaste con ayuda de un tratamiento especial de la superficie (anodización extradura), lo que permite el uso de piezas de fundición de poco peso para componentes que están expuestos al desgaste. Los accesorios para el equipo utilizado por las fábricas de textiles y otras industrias con el fin de aumentar la producción (como los husos para tejer, los marcos móviles de las máquinas de imprimir, las piezas de fundición y los pistones de las válvulas de control neumáticas) son un ejemplo pertinente.

Como se ha indicado anteriormente, el aluminio tiene varias ventajas en el proceso de

CUADRO 40. PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE FUNDICIÓN

Tecnología	Espesor mínimo de la pared (mm)	Tolerancia del espesor de la pared (porcentaje)	Productividad por trabajador (piezas/h)	Resistencia del troquel (piezas)	Mínimo económico de piezas trabajadas	Costo relativo de la pieza trabajada ^a	Resistencia mecánica ^b	Lisura de la superficie ^b	Anodizabilidad ^b
Fundición en molde de arena	3,0	±10	2	100-300 ^c	menos de 1 000	1	C	C	B
Fundición a presión por gravedad	2,0	±5	30	10 000-20 000	más de 1 000	0,65	B	B	A
Fundición a presión al troquel	0,8	±2	75-150	10 000-50 000	10 000	0,50	A	A	B

Fuente: [57].

^aFundición en molde de arena = 1.

^bA = mejor, B = media, C = menos satisfactoria.

^cCon el empleo de un troquel de madera; un troquel de aluminio mejoraría la resistencia en cierto grado.

fundición: la mecanización es fácil, se pueden fabricar grandes series y, en los automóviles por ejemplo, se ahorra combustible (aproximadamente por cada 100.000 km se ahorra un litro por cada kilogramo de peso). Además, el precio relativo del aluminio en comparación con el hierro fundido es un elemento importante en el diseño de los vehículos de transporte. Aunque para fabricar una tonelada de producto de acero, hacen falta 38 GJ de energía en comparación con 300 GJ para el aluminio, en el caso de los camiones con motor diesel el costo de esta energía adicional se compensará en un plazo de dos años en forma de ahorros de combustible [59].

Se pueden obtener ventajas análogas utilizando el aluminio en otras industrias igualmente. La posibilidad de establecer fundiciones de aluminio a bajo costo para la fabricación de piezas de fundición en series relativamente pequeñas tiene muchas consecuencias prometedoras, especialmente para los países en desarrollo. Esto, unido a las tendencias favorables de los precios, son las principales razones por las que las piezas de fundición de metales ligeros se han convertido en un competidor viable de las piezas de fundición de cobre, bronce y zinc en muchas regiones. Por lo tanto, las consideraciones indicadas más arriba pueden servir de ayuda al planificar un nuevo proyecto industrial.

Medios de transporte

Marcos de ventana

El uso del aluminio se ha extendido en muchos sectores de la industria del transporte. Ejemplo de ello son los marcos de las ventanas de los vagones de ferrocarril, que al principio se fabricaban de madera y luego de bronce. El primer diseño de marco de ventana de aluminio apareció hace unos 50 años. Desde entonces, por razones de peso y de economía, los marcos de ventana fabricados con aluminio anodizado han desplazado completamente a los demás materiales estructurales.

Luego el aluminio se empezó a utilizar para ciertos accesorios de los vagones de ferrocarril, en su mayor parte piezas de fundición, porque su fabricación y manutención requieren menos densidad de mano de obra. Las rejillas para los equipajes y las perillas y tiradores de puertas fabricados con aleaciones de bronce, latón o zinc tienen que galvanizarse con níquel o cromo para resistir a la corrosión. En cambio, las superficies de aluminio simplemente se pulen o (en la mayor parte de los casos) se anodizan para protegerlas contra la corrosión y la decoloración. Recientemente ha habido una fuerte competencia de los plásticos. Con todo, a menudo los plásticos defraudan las esperanzas que despiertan debido a

las pesadas cargas que entraña el transporte por ferrocarril.

El empleo de aleaciones de aluminio para los guardabarros de los automóviles está aumentando debido a su fuerte resistencia y facilidad de automoción para el tratamiento de las superficies. En los Estados Unidos en 1976 se utilizó por primera vez una aleación de AlZnMgCu (7016-T6) para fabricar guardabarros. En comparación con el acero, los guardabarros de aleación de aluminio tienen las siguientes ventajas [60]:

a) Una absorción favorable del choque en caso de colisión, cumpliendo más fácilmente las estrictas normas de los Estados Unidos;

b) La fabricación y el tratamiento de superficie se prestan mejor a la automoción y entrañan menos operaciones; en consecuencia, un guardabarro de aleación de aluminio es más barato que uno de acero cromado;

c) Se puede suprimir completamente el revestimiento de cromo (o níquel) que requiere el guardabarro de acero.

Carrocería

Al extenderse la soldadura por puntos y en frío y las técnicas de adhesión, los componentes de aluminio para la carrocería están siendo más aceptados para la fabricación de vehículos comerciales y de transporte público.

En algunos casos el aluminio no sólo sustituye a otros metales no ferrosos, sino que puede sustituir también al acero, cuando se utiliza para prevenir la corrosión. Una ventaja adicional es el peso ligero de ciertas estructuras móviles que ahorran mano de obra en el diseño moderno de material rodante, como los divisores del espacio interior, grandes puertas corredizas, techos inclinados o corredizos y paneles externos que se abren, así como marcos de ventana, cubiertas y rejillas de vehículos de carga.

Una innovación interesante es la sustitución de la carrocería de acero y madera en los camiones, por superestructuras de aluminio. Con el empleo del aluminio se pueden conseguir considerables ahorros en los gastos de mantenimiento y reparación [61, 62 y 63]. Las carrocerías de aluminio están constituidas por secciones de aluminio extrudado que se pueden unir a presión y cerrar con un pestillo y que cuestan aproximadamente lo mismo que la combinación de acero y madera debido al ahorro de mano de obra; un beneficio adicional es que no hacen falta trabajadores calificados [64].

Las posibilidades del aluminio en la fabricación de vehículos de transporte son ciertamente prometedoras. Ello es asimismo cierto para la

fabricación de automóviles, donde se prevé que se utilizará más aluminio en los años venidores. En el cuadro 41 figura una proyección efectuada por un productor de los Estados Unidos.

CUADRO 41. CANTIDAD DE ALUMINIO UTILIZADA EN LA FABRICACIÓN DE UN AUTOMÓVIL, 1965-1985^a

(Kilogramos)

Año	Piezas de fundición	Partes laminadas y extrudadas	Total
1965	24	8	32
1970	26	9	35
1975	27	11	38
1977	29	15	44
1980	41-45	27-45	68-90
1985	57-79	34-102	91-181

Fuente: [64].

^aPrevisiones.

Componentes para servicio pesado

La fundición a troquel es un proceso tecnológico importante en la deformación plástica del aluminio, que garantiza una mayor resistencia mecánica y una mayor duración. El producto resultante es adecuado para un servicio duro y puede soportar las pesadas cargas que son frecuentes cuando se utilizan vehículos de transporte. La tecnología es también importante en el sentido de que permite la fabricación de fuertes ruedas de una pieza para automóviles de turismo, ruedas que se pueden utilizar sobre los terrenos más difíciles con la máxima seguridad.

Cuando todas las partes de un vehículo que soportan el peso, es decir, el chasis, el marco de la carrocería y el revestimiento metálico de la superestructura, se fabrican de una aleación de aluminio, aparte de las economías de peso y combustible, se pueden también lograr considerables ahorros en los gastos de fabricación y mantenimiento. Con la ayuda de la técnica relativamente sencilla de la extrusión, se pueden fabricar cajas y soportes para la superestructura que, a diferencia de las partes de acero fundido laminadas o plegadas, permiten distribuir el espesor de la pared en diferentes puntos para lograr una resistencia mecánica óptima.

Como el aluminio no se corroe, las partes se mantienen intactas durante toda la vida del vehículo sin que sea necesario desmontarlas, proceder a un tratamiento de superficie y volverlas a montar periódicamente. La reducción del peso puede ocasionar un desgaste mínimo en el tren de rodaje y en el marco inferior del material rodante.

Indubablemente, la cantidad total de energía concreta utilizada para fabricar un producto acabado de aluminio es superior a la de los demás materiales estructurales. Sin embargo, esto es muy engañoso; durante la vida de un vehículo de

transporte, normalmente se puede hacer un ahorro equivalente a nueve veces la energía excedente requerida para la fabricación de piezas y componentes de aluminio. En el caso de los vagones de metro de aluminio la situación es incluso mejor: 1,5 a 2 años bastan para compensar la diferencia [65]. Este factor, unido a las ventajas de las técnicas modernas de extrusión, han inducido al metro de París a comprar recientemente 1.000 vagones de motor de aluminio que eran más baratos que los fabricados de acero [65]. Alentados por estos cambios, el metro de Atlanta ha hecho actualmente un pedido de vagones análogos de metro a Europa [66].

Agricultura

Debido a la habitual desigualdad de las condiciones geológicas y climáticas en que se utiliza el equipo agrícola al aire libre, la calidad de las piezas y componentes de aluminio empleadas por este sector debe ser excelente y estar garantizada. La resistencia a la corrosión es una consideración importante dada la enorme cantidad de productos químicos utilizados.

En la agricultura el aluminio se enfrenta con una fuerte competencia de otros dos materiales: el acero revestido de zinc y el plástico. Las modalidades definitivas de utilización dependerán siempre del precio relativo y de las especificaciones técnicas de estos materiales. Para ilustrar las ventajas relativas del aluminio en el sector de la agricultura, a continuación se citan dos ejemplos concretos, que se basan en parte en la experiencia de Hungría y en parte en la documentación profesional.

Riego

Los sistemas de riego varían considerablemente según el emplazamiento en el que están instalados; los utilizados en tierras de labranza difieren de los utilizados en la jardinería. Su diseño depende también de que se requieran aspersorios, regaderas rotativas o sistemas de riego subterráneo.

Los sistemas de riego de aluminio para tierras de labranza utilizan tres tipos de tuberías: portátiles, autopropulsadas o arrastrables a grandes distancias. Su característica común es la movilidad. De ahí que, después de la resistencia a la corrosión, otros dos de sus requisitos previos sean la ligereza y la resistencia mecánica suficiente. En cuanto al peso, el aluminio se compara ventajosamente con el acero revestido de zinc; en lo que respecta a la resistencia mecánica, es muy superior al plástico.

Los sistemas portátiles están diseñados con una tubería principal y de tres a seis tuberías

secundarias. La extensión de cada tubería es de 6 m. Sus dos extremos están dotados de juntas de fijación rápida. Los sistemas portátiles difieren de los otros dos debido a las juntas de fijación rápida del tipo Perrot o Wright-Rain; las primeras son grilletos mecánicos que se fijan firmemente, mientras que las últimas utilizan la presión del agua de riego para apretar los anillos de pistón. Ambos tipos tienen un margen de desviación de $\pm 15^\circ$ del eje de la tubería. En Hungría está más extendido el cierre mecánico.

Las dimensiones y el peso de las tuberías principal y secundarias son los siguientes:

	<i>Tubería principal</i>	<i>Tubería secundaria</i>
Diámetro interior (mm)	130	87
Longitud (m)	6	6
Espesor (mm)	1,2	1,2
Peso (kg)	1,5	7,8

Las tuberías principal y secundarias se sueldan a partir de una banda de aleación de aluminio. La presión de prueba es de 160 N/mm².

Los sistemas de aspersión autopropulsados ahorran mano de obra, ya que el trabajo lo realiza el propio motor del sistema. Un sistema de aspersión normalizado está constituido por tuberías soldadas de aleación de aluminio de 130 mm de diámetro.

Un sistema de tubería arrastrable actúa como la tubería principal del aspersorio autopropulsado. El trabajo duro que implica el arrastre de la tubería principal se elimina. Las tuberías soldadas de aluminio son de 159 mm de diámetro y 2 mm de espesor. Hay 46 pares de ruedas; las tuberías laterales descansan sobre 19 rodillos.

Los sistemas portátiles de riego pueden utilizarse para cualquier tipo de cultivo al aire libre en tierras de labranza, campos, grandes huertos o huertas, incluso sobre un terreno irregular o en pendiente. El equipo arrastrable sólo es adecuado para terrenos planos, pero para cualquier tipo de cultivo, mientras que los aparatos autopropulsados sólo sirven para regar plantas bajas (no superiores a un metro) cultivadas sobre terrenos llanos. No son, por tanto, adecuados para regar huertos.

Horticultura

El tamaño de las tuberías de riego utilizadas para la horticultura en invernaderos y tiendas de lámina metálica es considerablemente menor que el de las tuberías normalmente utilizadas en los campos. Antes se utilizaban tuberías de riego de aluminio fijas, pero éstas han sido totalmente desplazadas por las tuberías de plástico, especialmente de polietileno. El plástico se usa también

para las instalaciones de aspersión al aire libre destinadas al riego de viñedos y pequeños huertos.

El riego subterráneo se utiliza predominantemente para el cultivo de legumbres y hortalizas, mediante tuberías que riegan las raíces de las plantas. Por regla general, se utilizan tuberías de plástico. El aluminio se emplea únicamente en casos en los que el suelo, al cambiar de cultivo, se desinfecta utilizando una alta temperatura en lugar de sustancias químicas. Normalmente, el aluminio no compite con el plástico para las instalaciones de riego subterráneas. Sin embargo, puede utilizarse ventajosamente como armazón de las tiendas de láminas metálicas o como postes y apoyos en la viticultura.

Las tiendas de láminas metálicas son habitualmente de dos tamaños: estructuras de 4,5 m de ancho hincadas en el suelo y ajustadas con un marco de tuberías fabricadas de aluminio de 300 mm de diámetro y 1,5 mm de espesor, o estructuras de 7,5 m de anchura con un marco de 40 mm de diámetro y tubos de 2 mm de espesor. En los climas templados como el de Hungría, las tiendas de plástico tienen amplia aceptación para el cultivo de legumbres y hortalizas, plantones y primeros frutos, al ser el costo de la construcción de la tienda sólo el 10% del de los invernaderos tradicionales.

El empleo de estructuras de aluminio como postes y soportes para los viñedos está aumentando. Una de las principales razones de ello es que, a diferencia de la madera y el cemento, se prestan bien a una manipulación mecanizada. Los postes son de 3 m de alto, fabricados a partir de segmentos de canal de aluminio plegado de 2,5 x 40 x 60 mm hincados en el suelo a 8 m de distancia utilizando un dispositivo hidráulico montado sobre un tractor. Las cosechadoras de la uva ya no emplean madera y cemento. Frente a la competencia de otros metales, la resistencia a la corrosión y la facilidad de mantenimiento del aluminio representan grandes ventajas.

Edificación y construcción

En la industria de la edificación y la construcción, las instalaciones de almacenamiento y los bloques de oficinas, así como los edificios comunales y los bloques de viviendas de múltiples pisos crean una demanda que los métodos tradicionales de edificación ya no son capaces de satisfacer. En consecuencia, están haciendo su aparición técnicas más perfeccionadas de edificación, la prefabricación y componentes de construcción de poco peso. Donde las capacidades de edificación son insuficientes o no existe en absoluto una industria de la construcción, estas

nuevas técnicas pueden aportar las siguientes ventajas:

a) Las instalaciones para la prefabricación pueden estar emplazadas convenientemente en zonas en las que ya se ha llegado a una etapa más o menos adelantada de industrialización y se disponga de la infraestructura necesaria;

b) Las instalaciones industriales para fines múltiples (metalurgia, ingeniería mecánica, etc.) pueden también fabricar componentes de edificación prefabricados, con lo que se puede ahorrar parte de los fuertes gastos que suele entrañar la edificación de plantas separadas de materiales de construcción;

c) En comparación con los métodos de edificación tradicionales, los componentes ligeros tienden a reducir el volumen del material a la quinta o la décima parte, lo que permite una gran economía en los gastos de transporte;

d) El montaje y la instalación exigen menos personal calificado;

e) Los proyectos pueden quedar completos más rápidamente y entrar en funcionamiento antes.

Material para techos

En la construcción ligera tiene la máxima importancia que se disponga de material para techos prefabricado y de componentes de paredes en cantidad suficiente para el montaje en el lugar de la obra. Varios productos de aluminio laminado como hojas acanaladas, paneles intercalados y otras combinaciones de aluminio laminado se pueden utilizar ventajosamente. Estos productos sustituyen a grandes cantidades de acero revestido de zinc y son una consideración importante especialmente en climas donde este último material empieza pronto a oxidarse.

En la industria de la edificación y la construcción, entre los sectores en los que el aluminio se puede emplear con ventaja cabe mencionar los siguientes:

a) Los locales industriales y los almacenes;

b) Miradores de diseño estructurado, que se caracterizan por techados con grandes vanos. Esos locales suelen tener un armazón de acero. Para el revestimiento metálico, se pueden emplear láminas de aluminio acanaladas, paneles intermedios revestidos con hojas de aluminio u otros componentes prefabricados combinados;

c) Los locales agrícolas en los que se mantiene el ganado, habitualmente diseñados para techados con vanos pequeños. Dado el gran número de edificios y la rápida modificación de las técnicas de cría de animales, es necesario mantener unos costos de edificación reducidos. Por este

motivo, frecuentemente se utilizan armazones de madera revestidos de aluminio;

d) Las instalaciones para el almacenamiento en frío y la congelación de frutas y carnes. En la actualidad se utilizan exclusivamente paneles intermedios de aluminio;

e) El revestimiento metálico de los marcos de los edificios públicos y casas de apartamentos. Se pueden utilizar paredes y tabiques de paneles intermedios de aluminio. En los climas tropicales se pueden fabricar de aluminio diversos tipos de superficies que reflejan la sombra y de cubiertas de ventilación;

f) Los convectores solares con revestimiento de aluminio para engendrar parte de la energía calorífica requerida en los edificios (por ejemplo, suministro de agua caliente). Actualmente, este uso se encuentra en una etapa experimental.

Para levantar paredes o colocar techos por regla general se utilizan hojas de aluminio onduladas. Estas hojas se fabrican a partir de fajas de 1.000 a 1.200 mm o de 1.260 a 1.600 mm de anchura que se ondulan en sentido longitudinal para obtener rigidez. El material habitual es una aleación de $AlMn_1$ o de $AlMg_{1,3}$. Al estar onduladas en sentido longitudinal, se pueden comprar en cualquier extensión deseada a reserva de que existan posibilidades de transporte. El espesor de la lámina dependerá del uso final, la carga y la profundidad de las ondulaciones. El espesor normal de las hojas de aluminio onduladas varía entre 0,45 y 1,2 mm. El peso por unidad de superficie suele oscilar entre 1,2 y 5,4 kg/m², con una media económica razonable de 3 kg/m². Al emplear hojas onduladas a escala comercial, se requieren diversos pestillos y otros artículos de ferretería de aluminio (canalones de desagüe, brocales y juntas de ángulo para conectar los marcos de ventana o los componentes fabricados con aluminio u otros materiales estructurales) moldeados en frío, plegándolos o pasándolos a través de un conjunto de laminadoras. Se deberían establecer simultáneamente instalaciones para ondular las hojas y para fabricar artículos de ferretería.

Un diseño adecuado de los pestillos, juntas y otros artículos de ferretería de aluminio ahorrará mucha mano de obra y gastos de andamiaje, compensará los efectos de una ligera expansión o contracción de las estructuras de aluminio debido a cambios de las condiciones climáticas y protegerá las estructuras de las filtraciones del agua de lluvia, prolongando de ese modo su uso.

Se han puesto a punto diversos tipos de sistemas de revestimiento de aluminio que difieren entre sí sólo en pequeños detalles. Un revestimiento de una lámina de aluminio ondulada de una sola capa y no aislada puede contar con un

aislamiento térmico suspendido o colocado dentro de ella. Se puede obtener un buen aislamiento de una pared o techo colocando revestimientos aislantes entre dos láminas onduladas de aluminio. El revestimiento interior también se puede fabricar de madera o de algún otro material de construcción. En ese caso, por supuesto, habrá que añadir otros componentes como piezas intercaladas, armazones ajustables y acanalados secundarios. Todos los principales productores de aluminio han creado diseños adecuados de sistemas de aislamiento de las paredes y techos.

Una deficiencia de la construcción ligera es el peligro de sobrecalentamiento cuando hace mucho sol. En las regiones tropicales es difícil regular la temperatura ambiental al nivel requerido para un equipo delicado (por ejemplo, las computadoras) o para la comodidad de los usuarios incluso cuando se emplean técnicas de construcción tradicionales. Para reducir el calentamiento excesivo, se han ideado sistemas especiales de pantallas de aluminio que se colocan independientemente del techo. Estos sistemas permiten una ventilación eficaz entre la pantalla y el techo. Estos sistemas permiten una ventilación eficaz entre la pantalla y el techo. Los costos adicionales que entraña la instalación de esas pantallas para dar sombra son compensados con creces por las economías en el sistema de condicionamiento de aire o su eliminación completa.

Un componente de edificación prefabricado ampliamente aceptado es el panel intermedio, constituido por un núcleo central de espuma rígida de plástico firmemente asentada entre dos capas de madera dura, plástico, acero o aluminio. La parte central del plástico suele ser poliuretano, pero se están llevando a cabo investigaciones para crear un tipo de espuma de plástico más incombustible. Los paneles ya fabricados suelen ser de 8.000 a 12.000 mm de longitud y de 600 a 1.500 mm de anchura. La capa de aluminio se fabrica por regla general a partir de una tira de 0,6 a 1,0 mm de anchura media que pasa a través de una serie de laminadoras para su ondulación. Los extremos del revestimiento tienen una forma que permite su rápido montaje *in situ*. Aunque la mayor parte de los paneles intermedios se utilizan para paredes, algunos de ellos se utilizan también como parte del material de techado. En la instalación se ha de prestar suma atención a que el cierre sea correcto.

La espesura total de los paneles utilizados en los locales industriales y agrícolas, así como en los edificios públicos, es de 35 a 55 mm. Esos paneles contienen 5,5 kg de aluminio y 2 kg de plástico por metro cuadrado. En la construcción de cámaras frigoríficas se han de utilizar paneles más espesos: de 80 a 100 mm para las frutas y de 200 a 300 mm para la congelación de otros alimentos.

Los paneles se tienen que juntar con el máximo cuidado y precisión.

En comparación con otros diseños, los paneles intermedios revestidos de aluminio tienen una clara ventaja que consiste en que, debido a su resistencia a la corrosión, no es necesario proceder a un tratamiento adicional de la superficie en el momento de la instalación y no requieren un trabajo de mantenimiento posteriormente. Los gastos adicionales que entraña el empleo de esos paneles se compensan ampliamente en forma de ahorros de gastos en un plazo de cinco a ocho años. En consecuencia, el uso del aluminio en la construcción de cámaras frigoríficas no es sólo técnicamente útil, sino que es también positivo desde el punto de vista financiero.

En Hungría se ha producido un tipo especial de techo prefabricado. Tiene un diseño de armazón arqueado, con dos capas de lámina de aluminio ondulado conectadas por aristas metálicas rígidas; dentro y entre las láminas se coloca el componente aislante. El material para techos se puede obtener para tramos de 12 a 30 m de largo que se mantienen en posición sin armazones o soportes adicionales. Como los componentes están totalmente prefabricados, la instalación es rápida y muy económica. Para distancias más largas, sin embargo, el material de techado es difícil de transportar debido a la mala utilización del espacio en los buques de carga.

Con el uso del aluminio en la edificación y la construcción, es posible sustituir a los materiales tradicionales de edificación a base de silicato. El aluminio tiene asimismo grandes posibilidades de sustituir al acero revestido de zinc o plástico. Una tonelada de lámina de aluminio sustituye de 2,4 a 2,6 t de lámina de acero y de 0,2 a 0,25 t de revestimiento de zinc. Además, la vida útil de la lámina de aluminio es varias veces mayor que la de la lámina de acero enchapado. No hay gastos adicionales de mantenimiento, mientras que el acero revestido de zinc tiene que someterse a un tratamiento de superficie de cada dos a cada cuatro años.

Canales de tejado

En toda construcción ligera de aluminio es esencial disponer de un sistema eficaz de eliminación del agua de lluvia. Su falta, diseño incorrecto o dañado pueden causar pérdidas financieras indirectas y una depreciación del valor del edificio.

El material tradicional para los canales es de zinc, aunque en el pasado se ha utilizado a veces el cobre. Desde el segundo decenio del presente siglo pasó a ser de uso general el acero revestido de zinc. No obstante, el revestimiento fino y a menudo no ininterrumpido de zinc no es un buen sustituto de la plancha de zinc, que normalmente es utilizable durante 30 a 40 años. Por regla

general, después de dos a tres años de uso, sobre la superficie de revestimiento de zinc se hacen visibles manchas de orín, y después de cinco a seis años los canales tienen fallas en varios puntos y han de ser sustituidos. Se ha intentado prolongar la vida de los canalones añadiendo una capa de pintura. Sin embargo, los gastos del trabajo adicional y de la pintura resultan antieconómicos; debido a ello, la pintura sólo se utiliza para pequeñas casas privadas. Más útil resultó el cubrimiento de la plancha de acero revestida de zinc con una primera capa eficaz de pintura de alta calidad. Esta costosa operación prolongaba la vida del canal del tejado de 10 a 15 años, lo que, sin embargo, sólo representa una fracción del tiempo que puede durar el que es totalmente de zinc. También se efectuaron experimentos con canales de plástico (CPV o poliesterino a prueba de fractura), cuya eficacia en función de los costos es, empero, escasa.

En Hungría en 1970 sólo se fabricaban de aluminio del 2% al 3% de los canales de tejado; en 1976 esa cifra se elevó al 30%. En la actualidad se cuenta también con instalaciones para la fabricación de sujetadores, accesorios y otros componentes auxiliares de aluminio.

Según la experiencia adquirida hasta ahora, los canales de tejado para uso general se deben fabricar a partir de una hoja de aluminio de 0,8 mm. Las pruebas relativas a la corrosión a la intemperie con láminas de aluminio semiduro al 99,5% han dado los siguientes resultados:

a) Después de una exposición durante seis meses, han aparecido en la superficie de las piezas puestas a prueba pequeñas manchas blancas de corrosión, fácilmente eliminadas;

b) Después de seis meses la intensidad de la corrosión tiende a disminuir; incluso pasados varios años la corrosión no aumentó sustancialmente y las piezas expuestas sometidas a la prueba no presentaban ninguna falla;

c) El ritmo al que aparecían las manchas blancas, así como su densidad, variaban con la intensidad de la contaminación ambiente del aire;

d) Se descubrió que la corrosión era más frecuente cuando la superficie de los canales de tejados suspendidos presentaba impurezas;

e) Al abrir las juntas cerradas, se descubrió que el aislante colocado entre los dos metales para evitar el contacto directo tenía fallas en varios puntos; a pesar de ello, se pudo observar que no existía o sólo existía en pequeño grado una corrosión de contacto;

f) La parte posterior y los extremos de los revestimientos están en contacto directo con sustancias propensas a la reacción alcalina (por ejemplo la argamasa, el cemento y el hormigón).

Si esas partes de aluminio no están montadas adecuadamente, la humedad que penetra en los huecos resultantes puede provocar cambios corrosivos:

g) Aparte de las manchas blancas a que se ha hecho referencia más arriba, no se detectó ninguna corrosión sustancial;

h) Las pruebas de laboratorio demostraron que la profundidad de la corrosión no aumentaba proporcionalmente con el tiempo; es decir, el ritmo y la intensidad de la corrosión tendían a disminuir a largo plazo.

Al montarlos, es necesario dar una mayor inclinación a los canales suspendidos de aluminio que a los de acero revestido de zinc para prevenir los daños de la corrosión. Si se utilizan objetos de quincallería en un edificio nuevo revestido de aluminio, esos objetos deben ser de aluminio. Si se utilizan para la renovación, todas las demás partes se deben cambiar por aluminio, en la medida de lo posible. El empleo de metales diferentes juntos es nocivo y debe evitarse.

Las dimensiones principales de los elementos de edificación de aluminio son prácticamente idénticas a las de los fabricados de zinc o de acero revestido de zinc, con las siguientes excepciones:

a) Se han de utilizar láminas de aluminio semiduras al 99,5% de 0,8 mm de espesor;

b) A una distancia máxima de 10 m de los puntos donde se fijan firmemente las estructuras suspendidas (por ejemplo, las juntas terminales de las tuberías) se han de prever espacios libres estancos para la expansión.

Dadas las propiedades del aluminio, los canales de tejado tienen que instalarse con una inclinación del 3% al 4%. Además, es necesario montar puntales de los canales a distancias regulares de 1.000 mm con una tolerancia de ± 100 mm y colocarlos de manera que se pueda lograr la inclinación deseada.

No se ha ideado ninguna tecnología eficaz para soldar los componentes de edificación de aluminio a escala comercial; por lo tanto, los elementos de aluminio se pueden conectar únicamente mediante remaches o juntas plegadas. Los remaches tienen que ser de aluminio o material compatible con el aluminio.

El aluminio y otros metales no se pueden conectar directamente. Para evitar los efectos perniciosos de la corrosión, se ha de prever un aislamiento eficaz de las superficies de contacto.

Marcos de puertas y ventanas

Otro uso del aluminio que está teniendo amplia aceptación por la industria de la edificación es el de los marcos de ventanas. Los últimos avances de la tecnología permiten fabricar com-

ponentes de marcos de ventana de dimensiones de la máxima precisión, lo que facilita y acelera el montaje. Aparte de la demanda universal de una mayor comodidad personal, un mayor número de plantas industriales y de instituciones científicas y médicas necesitan un control eficaz de la temperatura, la humedad, la esterilidad y el polvo. Los marcos modernos de ventanas y puertas de aluminio, que tienen un diseño práctico y estéticamente atractivo, pueden satisfacer esas necesidades. Los ahorros de los gastos con el empleo de marcos de ventana de aluminio se manifiestan en los gastos generales de explotación más que en los gastos de capital.

El diseño de marcos de ventana de aluminio está determinado por las condiciones climáticas locales. Si la temperatura media es superior a los 18°C, por lo general bastan ventanas sencillas. Por razones de economía, se utilizan marcos corredizos horizontales o verticales constituidos por secciones de aluminio. Las secciones componentes de aluminio se anodizan en series. Los ángulos de marcos soldados han sido sustituidos por juntas de ángulo mecánicas. Con ese fin, se han empezado a utilizar sujetadores de tornillo, entrantes de segmento extrudado o fundido, tuercas y sujetadores moldeados en frío. Según el tamaño, el peso por unidad de superficie de un marco corredizo horizontal de ventana sencilla moderna de aluminio varía de 4 a 7 kg/m².

En los climas templados el uso de paneles aislados de ventana doble está justificado. La tecnología es prácticamente la misma que la de los marcos de ventana sencilla. Sin embargo, para garantizar un cierre hermético, se ha de poner particular cuidado. El peso por unidad de superficie de un marco de ventana doble aislada de aluminio es de unos 7 a 9 kg/m².

Como resultado de la elevación de los precios del combustible, ha hecho su aparición un nuevo diseño de marco de ventana de aluminio que representa unos "puentes térmicos". Una capa de plástico, que es un conductor térmico mucho peor que el aluminio, se añade entre las superficies externa e interna de aluminio. La pérdida de calor y la condensación de vapor se pueden reducir considerablemente. Como el plástico incrustado tiende a menoscabar la resistencia mecánica del marco de ventana, el marco de aluminio tiene que ser más robusto; su peso por unidad de superficie suele oscilar entre 6 y 13 kg/m².

En regiones con temperaturas medias más altas y más horas de sol, es más difícil enfriar en verano que impedir las pérdidas de calor en invierno. De ahí que se estén efectuando investigaciones para crear nuevos tipos de marcos de ventanas que reduzcan el exceso de calor sin un sistema de pantalla separado. Una primera medida ha consistido en introducir cristales de ventana que

reflejan la luz. Una solución más eficaz puede ser una doble ventana con dos marcos colocados a una distancia de 10 a 30 cm; la corriente de aire natural o artificialmente inducida entre los dos marcos puede eliminar la mayor parte del exceso de calor.

En los edificios de diseño tradicional, del 60% al 80% de las pérdidas caloríficas se producen en los meses de invierno a causa de la transferencia térmica a través de la propia edificación y del 20% al 40% a través de los marcos de las ventanas. Unos marcos modernos de ventana de aluminio adecuadamente aislados pueden reducir esa última cifra al 10%. En menor grado el calor del verano se puede reducir eficazmente con marcos de ventana de diseño apropiado. Todo esto influye fuertemente en el consumo de energía, sector en el que los ahorros son siempre bienvenidos dado el constante aumento de los precios de la electricidad y del combustible. En las cámaras frigoríficas se utilizan puertas de aluminio; en los hangares, en los compartimientos de las fábricas y de algunos edificios públicos se instalan grandes puertas de aluminio que se hacen funcionar mecánicamente; también se encuentran puertas y portales de aluminio en los edificios para uso agrícola.

La producción de marcos de ventana de aluminio requiere extrusiones de aluminio en formas suficientes y de especificaciones adecuadas. Por lo tanto, en las fábricas de marcos de ventana de aluminio se instalan a menudo prensas hidráulicas para la extrusión de secciones de aluminio.

Los gastos de inversión de las fábricas de marcos de ventana de aluminio varían con el grado de mecanización y automatización y con el índice de productividad. El establecimiento de una instalación automatizada de 5.000 t/a (80.000 m²/a) con un máximo de 20 trabajadores puede requerir una inversión de capital de \$40 millones. Una planta de la misma capacidad con una escala de mecanización considerablemente más modesta costaría en torno a los \$13 millones, pero tendría que dar empleo a unos 80 trabajadores.

Edificios y casas ambulantes prefabricados

En el período posterior a la Segunda Guerra Mundial, muchas instalaciones de fabricación de aeronaves permanecieron ociosas y los locales —pequeños edificios de aluminio prefabricados— se pusieron a la venta en los mercados de los Estados Unidos y el Reino Unido. Sin embargo, los edificios no eran populares debido a las deficiencias de diseño y a la corrosión resultante del uso de una aleación poco adecuada.

En la actualidad se utilizan dos sistemas de pequeños edificios prefabricados de aluminio a escala comercial:

a) "Las casas ambulantes", que se transportan y montan en el lugar donde van a estar

emplazadas como unidades únicas completamente prefabricadas y completas;

b) El sistema de módulos, que permite combinaciones del armazón, el material de techado, los paneles laterales, los divisores del espacio interior, los marcos de ventanas y puertas que se montan en el lugar de emplazamiento.

En precio, los edificios prefabricados de aluminio son más caros que los edificios comparables de los materiales tradicionales. Pese a ello, son viables en casos concretos:

a) Locales temporales, cuando los gastos de desmontaje y remontaje son inferiores a los de construcción de nuevos locales (por ejemplo, emplazamientos para la construcción de edificios o proyectos industriales);

b) En zonas donde el acceso es difícil o la maniobrabilidad es escasa;

c) Cuando se desea una construcción rápida.

En las regiones con una infraestructura insuficiente, hay ventajas adicionales:

a) Como el transporte a largas distancias es costoso y difícil, el peso ligero de las estructuras y componentes de construcción de aluminio es un factor importante;

b) La mano de obra, especialmente la mano de obra calificada, es a menudo difícil de encontrar en el lugar de la obra; el trabajo que entraña el montaje o instalación de una construcción prefabricada es mínimo.

Los edificios con una estructura de aluminio pueden tener un máximo de dos pisos y deben diseñarse con vanos medios o pequeños que no excedan de 6 m. Se pueden utilizar ventajosamente como casas de campo o pabellones, oficinas, talleres, laboratorios, salas de motores, escuelas, dispensarios, consultorios y moteles.

Las casas ambulantes se concibieron por primera vez en los Estados Unidos. Los marcos de aluminio utilizan una aleación muy fuerte de AlZnMg que se presta adecuadamente a la soldadura. Los marcos se suelen trasladar al lugar de la obra para su instalación. El sistema de marcos de aluminio desarrollado en Suiza es análogo: en este país los marcos soldados se trasladan al emplazamiento de la obra y se montan juntándolos con tornillos.

Los dos sistemas creados en la República Federal de Alemania se basan en barras de aluminio que se cortan a medida, se taladran y se ajustan con dispositivos de fijación que se fijan con tornillos en el emplazamiento de la obra.

En Hungría se está actualmente promoviendo un sistema que utiliza un máximo de elementos prefabricados y un mínimo de mano de obra. El marco está soldado y las dimensiones interiores y paneles exteriores son prefabricados, lo que permite el ajuste del espacio interior. Cada panel y divisor se sujeta al marco con un simple pestillo.

Todos los sistemas sacan partido de las posibilidades de diseño de las extrusiones y utilizan juntas que son fáciles de manipular para juntar vigas, materiales de techado y paredes laterales al armazón.

La cantidad de aluminio utilizada en estos sistemas por unidad de superficie varía de 10 a 30 kg/m² por cada piso.

Usos diversos

Otras aplicaciones del aluminio en el sector de la construcción son las siguientes:

Andamios de tubo de aluminio para la construcción o la renovación

Paneles y revestimientos exteriores de edificios
Balaustradas, frisos y escalerillas

Instalaciones para ingeniería de la edificación, conductos para el aire, radiadores y enfriadores.

Referencias

1. D. Altenpohl, "Technology planning and perspectives of aluminium industries in the seventies", documento presentado en la Primera Conferencia sobre el Aluminio, celebrada en Székesfehérvár, octubre 1982, *Magyar Aluminium*, vol. 10, No. 1 (1973), págs. 19 y 20.
2. G. Callaioli, "Perspectives of aluminium applications in electrical engineering", *Alluminio*, vol. 57, No. 3 (1978), pág. 93.
3. A. Domony, "Present standards of aluminium finished product manufacture as reflected by world developments", *Magyar Aluminium*, vol. 9, No. 9 (1972), pág. 245.
4. A. Domony, "Technical and economic features of aluminium usage in electrical engineering", *Magyar Aluminium*, vol. 3, No. 3 (1966), pág. 63.
5. L. Deschamps, A. M. Schwab y A. Lacoste, "Perspectives d'énergie par cable isole", *Bulletin*

- de la direction des études et recherches EdF. No. 2, 1975, pág. 35.
6. R. Rols, "Generalisation de l'emploi de l'almelec dans les lignes aeriennes de distribution à moyenne et basse tension de l'électricité de France", *Revue de l'aluminium*, No. 414, 1973, págs. 80-84.
 7. H. Dibon, "Alumowelddrähte und Seile im Starkstromleitungsbau", *Aluminium*, vol. 49, No. 7 (1973), págs. 483-487.
 8. A. Domony, F. Miklos y T. Tóth, "Principal trends and latest developments in aluminium usage by the electrical engineering industry of Hungary", *Magyar Aluminium*, vol. 11, Nos. 3-4 (1974), págs. 82-93.
 9. T. Tóth, "Development problems and research results with aluminium conductors", *Magyar Aluminium*, vol. 13, Nos. 3-4 (1976), págs. 100-107.
 10. T. Tóth y W. Zarebski, "International cooperation in the use of aluminium by the electric power industry", *Magyar Aluminium*, vol. 12, Nos. 3-4 (1975), págs. 114-124.
 11. F. Miklos y J. Friedrich, "Medium voltage aluminium pylon head structures", *Magyar Aluminium*, vol. 5, No. 2 (1968), págs. 40-43.
 12. J. Schuller, "Aluminium alloy overhead telephone conductors and their installation", *Kohászati Lapok*, vol. 90, No. 12 (1957), pág. 497.
 13. G. Kardos, "The role of aluminium in new cable types", *Magyar Aluminium*, vol. 14, No. 6 (1977), págs. 169-175.
 14. F. A. Clark, M. A. Rheinberger y A. W. Sisson, *Aluminium Conductor in Paper-insulated Telephone Cables* (Prescott, Reino Unido, BICC, 1974). (Folleto)
 15. K. I. Kincaid, "Recent trends in plastic-insulated telephone cable technology", *Electrical Communication*, vol. 49, No. 60 (1974)
 16. División de Cables Telefónicos, BICC, *Aluminium Conductor Fully Filled Concentric Layer Twin Cables up to 100 Pairs* (Prescott, Reino Unido). (Folleto)
 17. G. Kardos, *Plastic-insulated High-power Conductors and Cables* (Budapest, Műszaki Könyvkiado, 1966).
 18. A. Kara y F. Miklos, "Practical aluminium applications in electric switchgear", *Magyar Aluminium*, vol. 7, Nos. 7-8 (1970), págs. 196-199.
 19. F. Miklos, "Up-to-date aluminium joints in electrical engineering", *Magyar Aluminium*, vol. 4, No. 8 (1967), págs. 213-218.
 20. J. Fodor y L. Szanto, *Electric Building Installations* (Budapest, Műszaki Könyvkiado, 1977).
 21. F. Czelecz, J. Gardonyi y B. Sido, *The Installation of Heavy Power Equipment* (Budapest, Műszaki Könyvkiado, 1968).
 22. M. Anka y A. Eva, "Thermal stability and improvement of creep resistance in unalloyed aluminium overhead conductors", *Magyar Aluminium*, vol. 12, No. 12 (1975), págs. 361-371.
 23. G. Ujhazy, "Experiences by Ganz Electrical Works in the field of transformers with aluminium armatures", *Magyar Aluminium*, vol. 11, No. 11 (1974), págs. 337-340.
 24. W. Nimmrichter, "Transformatoren", *Elektrizitätswirtschaft*, vol. 13, No. 9 (1973), pág. 414.
 25. E. C. Westinghouse, *Rectangular Coil Core Form Transformers* (1969). (Folleto)
 26. W. Küster y H. Jaron, "Kriechverhalten und elektrischer Übergangswiderstand bei Aluminium-Schraubverbindungen", *Aluminium*, vol. 48, No. 7 (1972), págs. 496-500.
 27. A. Kara y F. Miklos, "Joints of aluminium conductor bars" *Magyar Aluminium*, vol. 6, Nos. 7-8 (1969), págs. 213-215.
 28. O. Feimer, "Die Verwendung von Platten und Aluminium für die Kapselung von Schaltungsanlagen", *Energietechnik*, No. 10, 1973.
 29. "Explosion techniques in joining aluminium conductors", *Energetyka* (Varsovia), No. 11, 1975.
 30. "Explosionsschweißen von Aluminiumschienen", *Werkstatt und Betrieb*, No. 10, 1973.
 31. "Erwärmung von Kapselungen elektrischer Leiter und Schalter", *Schweizer Maschinenmarkt*, No. 11, 1972.
 32. I. Varga, *Welding of Aluminium: Post-graduate textbook* (Budapest, Universidad Técnica, 1972), vols. 1 y 2.
 33. A. Kara y F. Miklos, "Practical aluminium applications in electrical switchgear", *Magyar Aluminium*, vol. 7, Nos. 7-8 (1979), págs. 196-199.
 34. A. Horvath y A. Kara, "The first aluminium switchgear in Hungary", *Villamosság*, vol. 14, Nos. 5-6 (1966), págs. 137-143.
 35. A. Kara, "Aluminium electrical switchgear for exports", *Magyar Aluminium*, vol. 9, No. 12 (1972), págs. 365-368.
 36. S. Egerhazi, "Variations in the structure of anodic oxide films with field strength and the material used", *Magyar Aluminium*, vol. 13, No. 6 (1976), págs. 180-185.
 37. A. Domony, *Aluminium Handbook* (Budapest, Nehezipari Könyvkiado, 1967).
 38. Aluminium Association, *Aluminium With Food and Chemicals* (Nueva York, 1967).
 39. W. Hufnagel, "Aluminiumgeräte für Lagerung, Transport oder Zubereitung von Nahrungsmitteln und Getränken", *Aluminium*, vol. 54, No. 6 (1978), págs. 403-406.
 40. J. I. Menzies, "Testing time in US can making", *Metal Bulletin Monthly*, vol. 82, No. 3 (1974), pág. 10.
 41. N. P. Shumeyko y J. P. Smoloentsev, *Proyvodstvo alyuminievoy konservnoy tary* (Moscú, Pischevaya Promyslennosty, 1978).
 42. "Aluminium and tinfoil usage in can manufacture", *Revue de l'aluminium*, No. 393 (1971), pág. 146.

43. I. Kelemen, "Thin-walled aluminium packaging items", *Kozerv-es Paprikaipar*, No. 2, 1978, pág. 62.
44. I. Komjati, "Aluminium packaging and technical development in Hungary", *Magyar Aluminium*, vol. 6, Nos. 10-11 (1969), págs. 299-302.
45. A. Domony y I. Komjati, "The use of thin strips in canning", *Magyar Aluminium*, vol. 5, núm. 2 (1968), págs. 37-39.
46. H. Schmidt, "Aluminium in the fish canning industry of the German Democratic Republic", *Magyar Aluminium*, vol. 12, No. 10 (1975), págs. 293-295.
47. A. Domony, "Replacement of tinplate by other materials", *Magyar Aluminium*, vol. 14, No. 12 (1977), págs. 361-365.
48. E. Szenes, "Aluminium usage in canning", *Magyar Aluminium*, vol. 7, No. 12 (1970), págs. 353-357.
49. A. Domony, "Up-to-date car manufacture by wall-reducing deep-drawing (ironing)", *Magyar Aluminium*, vol. 10, No. 6 (1973), págs. 180-183.
50. "Techno-economic novelties", *Magyar Aluminium*, vol. 14, No. 10 (1977), pág. 302.
51. F. Balla, "The usage and economic feasibility of aluminium collapsible tubes in food-processing", *Magyar Aluminium*, vol. 10, No. 6 (1973), págs. 177-179.
52. T. B. Herbst y H. Schröder, "Tuben aus Aluminium-Kunststoff-Verbindungen", *Aluminium*, vol. 54, No. 5 (1978), pág. 313.
53. I. Acsady, "Aluminium foil manufacture at the Kőbánya Light Metal Works", *Magyar Aluminium*, vol. 15, Nos. 3-4 (1978), págs. 136-140.
54. M. Frecska, "Prepared food in aluminium foil trays", *Magyar Aluminium*, vol. 9, Nos. 3-4 (1972), pág. 119.
55. F. Palazzo, "The future of aluminium in the automotive industry", *Alluminio*, Vol. 56, No. 9 (1977), págs. 323-334.
56. *Fachtagung Aluminium und Automobil* (Düsseldorf, Aluminium Zentrale, 1976).
57. K. Karácsonyi y A. Rajczy, "Modernisation of crankcase production and increasing productivity by mechanization with the aid of the enterprise's own resources", *Kohászati Lapok*, vol. 111, No. 3 (1978), págs. 55-63.
58. P. Müller, "Aluminium und Energie", *Schweizer Aluminium Rundschau*, vol. 28, No. 42 (1978), págs. 165-172.
59. D. Fertou, F. Guiraldeno y T. Vinh, "Emploi d'aluminium dans les structures absorbant les chocs", *Revue de l'aluminium*, No. 457 (1976), pág. 563.
60. G. Sburlati, "Prefabricated superstructures of industrial vehicles", *Alluminio* (Milán), vol. 56, No. 9 (1977), págs. 344-347.
61. G. H. Gross, "Die Anwendung von Aluminium bei Kippfahrzeugen", *Aluminium*, vol. 45, No. 9 (1969), págs. 574-576.
62. G. H. Gross y U. Duncker, "Aluminiumfahrzeugkonstruktionen", *Aluminium*, vol. 45, No. 9 (1969), págs. 577-579.
63. i. Baránszky-Jób, "How to improve cost-effectiveness of aluminium rolling stock production by using semis of special design", *Magyar Aluminium*, vol. 15, No. 5 (1978), págs. 170-177.
64. "Energiesparer Aluminium", *Aluminium Presse-Information* (Düsseldorf, Aluminium Zentrale), vol. 11, No. 5 (1978), pág. 7020.
65. "Leichtmetallwagen für die U-Bahn von Atlanta", *Eisenbahntechnische Rundschau*, vol. 26, No. 3 (1977), pág. 2.

V. Realización de productos

Fomentar el consumo del aluminio es siempre una de las principales preocupaciones de la industria del aluminio. Nuevas utilizaciones engendran una mayor demanda y ejercen presión sobre las fábricas de productos semielaborados y otros fabricantes para que conciban técnicas avanzadas con el fin de atender a las necesidades más complejas de un mayor número de consumidores.

El aluminio tiene que hacer frente a la competencia constante de otros materiales. Mantener la situación y encontrar nuevos mercados para el aluminio es una tarea difícil a la que a menudo contribuyen organismos de asesoramiento (véase el capítulo III). En lo que a la realización de productos se refiere, los organismos de asesoramiento pueden:

a) Contribuir a elaborar las líneas generales de especificaciones uniformes mediante recomendaciones y una participación activa;

b) Cooperar en la compilación y publicación de libros de texto, documentación y cuadros de referencia y en la organización de conferencias o de cursos postuniversitarios para el personal de ingeniería de los sectores de consumo;

c) Participar activamente, en cooperación con las autoridades locales, en la ejecución de proyectos que requieren una economía de energía o un uso más racional de los materiales que son escasos.

Normalización

La normalización garantiza que las dimensiones de un producto sean exactas, que el producto resulte intercambiable y resistente y que se satisfagan los requisitos de seguridad de funcionamiento, higiene y protección ambiental. Para que las normas se puedan aplicar es necesario que el conjunto de los principales productores y consumidores lleguen a un consenso sobre todos los aspectos. También hacen falta reglamentos y normas especiales que regulen el montaje y la instalación de los productos y garanticen su calidad.

Es preciso que entre los fabricantes de productos, las fundiciones y los fabricantes de aluminio se negocie un conjunto separado de

normas relativas a los lingotes y a los productos semielaborados. Esto constituye a veces una ardua tarea debido a que los intereses de las partes a menudo están en conflicto. La industria del aluminio se enfrenta a veces con la necesidad de introducir tecnologías nuevas y costosas antes de que se aprueben unas especificaciones uniformes. Los representantes de la industria del aluminio deben participar en las deliberaciones de todos los comités de normalización.

A pesar de las diferencias de las normas de un país a otro, existen tres tipos principales:

a) Las normas relativas a las materias primas que rigen la composición, propiedades mecánicas, dimensiones y, más recientemente, las cualidades tecnológicas de los lingotes y de los productos semielaborados (por ejemplo, conductividad eléctrica, posibilidad de someterse a un estirado profundo, etc). Por lo general esas normas son redactadas por expertos en aluminio, pero antes de aprobarse se ha de consultar a los consumidores principales;

b) Normas relativas a los productos acabados, que son aplicables a un sector particular; enumeran las características técnicas esenciales del material a partir del cual se elabora el producto acabado y las propiedades principales del propio producto acabado. Esas normas se tienen que coordinar con las normas relativas a las materias primas. Las suelen redactar conjuntamente especialistas de un sector determinado de usos finales del aluminio (ingeniería eléctrica, edificación y construcción, embalaje y envasado, etc.) y representantes de los consumidores principales, en consulta con la industria del aluminio;

c) Las normas tecnológicas relativas a la soldadura, tratamiento de la superficie, etc. Si esas normas son iniciadas por la industria del aluminio, es preciso consultar a los principales fabricantes que aplican esas tecnologías.

En muchos países desarrollados las propiedades y la aplicación de una gama muy amplia de productos se rigen por especificaciones normalizadas que frecuentemente se complementan con un conjunto de instrucciones o reglamentos detallados sobre las técnicas y la instalación. Es necesario que cada país revise y adapte las especificaciones uniformes a las condiciones nacionales, cuando proceda.

A comienzos de los años 50 se introdujo en Hungría en sistema de recomendaciones. Aunque no son normas plenamente elaboradas, estas recomendaciones tenían por objeto impulsar el uso del aluminio, por un lado, y restringir el uso de los otros metales no ferrosos, por el otro. Señalaban si era conveniente, aconsejable, posible o imposible utilizar el aluminio para un fin determinado (esas recomendaciones, por supuesto, se tienen que revisar de cuando en cuando para mantenerse al tanto de los últimos avances técnicos).

Manuales

Para los diseñadores, investigadores, ingenieros de procesos y trabajos, especialistas como los economistas y, lo que es más esencial, trabajadores calificados y artesanos es trascendental adquirir cierta maestría en el diseño, elaboración y uso del aluminio en diferentes sectores de la industria. Aunque esas personas pueden conocer muy bien los fundamentos de su propio campo de actividad, es probable que no estén familiarizados con las tecnologías, las normas, la viabilidad económica y otros aspectos específicos del consumo del aluminio.

Los investigadores, los ingenieros proyectistas y los consultores que trabajan en la industria del aluminio tendrán que adoptar la iniciativa de redactar manuales, libros de texto, folletos y cuadros para ingenieros, técnicos y trabajadores calificados empleados en esa industria. La Aluminium Zentrale (Central del Aluminio) de la República Federal de Alemania cuenta con su propia editorial, Aluminium Verlag. Todas las principales empresas transnacionales del aluminio y la mayor parte de las principales compañías del aluminio publican, aunque sólo sea en pequeña escala.

A continuación se describen los principales tipos de documentos utilizados por la industria del aluminio.

Manuales. Los manuales describen las propiedades mecánicas y técnicas del aluminio, las características técnicas y los usos finales (por ejemplo, la enorme variedad de secciones extrudadas) de productos semimanufacturados, los métodos ulteriores de elaboración, las tecnologías y las operaciones (por ejemplo, la fundición, la soldadura, el tratamiento de superficie, el torneado). Los manuales dan también orientaciones sobre el diseño, la instalación y el uso de los productos de aluminio.

Tablas y cuadros. Las tablas y los cuadros ayudan al ingeniero proyectista a realizar diseños óptimos aprovechando las características esen-

ciales del aluminio. Como los diseños que utilizan los materiales tradicionales pueden muy raramente ser eficaces y adaptarse económicamente al aluminio, es fundamental realizar diseños nuevos y eficaces.

Opúsculos y folletos. Operaciones o técnicas particulares como la deformación plástica, la fundición, la soldadura, el torneado o el tratamiento de superficie del aluminio son algunos de los temas que pueden ser objeto de estas publicaciones. Los opúsculos y folletos deben ser de carácter fáctico, tener muchas ilustraciones y estar redactados en un estilo que resulte fácilmente comprensible para los ingenieros, los técnicos y los trabajadores calificados.

Publicaciones especiales. Esas publicaciones describen dónde y en qué circunstancias se puede utilizar eficazmente el aluminio. La redacción debe ser igualmente descriptiva y clara; si no se puede evitar, se debe utilizar la "jerga" profesional.

Libros de texto para cursos de capacitación. En los libros de texto pueden incluirse resúmenes de conferencias dadas en los cursos de capacitación o sobre la experiencia adquirida en las reuniones de trabajo.

Catálogos y hojas de información. En este tipo de publicación se pueden describir las especificaciones detalladas de los productos semielaborados o las características descriptivas de una generación particular de productos. Los productos auxiliares empleados en la elaboración del aluminio (por ejemplo, los lubricantes especiales, los fundentes para soldadura, los baños para el tratamiento de superficie) deben también ser abordados. La industria del aluminio debe promover la publicación y difusión de esas hojas informativas, aunque no sea el fabricante de esos productos.

Revistas. La publicación de una revista sobre el aluminio se recomienda únicamente si existe una fuerte industria del aluminio en la región. Una publicación periódica sobre el aluminio es un instrumento útil para promover los contactos entre los fundidores, los fabricantes, las industrias de fabricación de productos y los consumidores y para promover la cooperación entre las instituciones de diseño y de investigación, por un lado, y las empresas industriales, por el otro. La industria del aluminio debe ser el principal patrocinador de estas publicaciones.

Convendría que la tecnología del aluminio se incluyera en el plan de estudios de las escuelas de ingeniería mecánica y química. Se podrían asimismo organizar cursos de capacitación del per-

sonal de ingeniería o de trabajadores calificados o promover estudios de posgrado para especialistas. Convendría que los organismos estatales prestaran su apoyo moral o financiero a esos cursos.

Reglamentaciones

Cuando los materiales tradicionales son sustituidos por el aluminio, pueden hacer falta hasta 20 años para que la nueva tecnología madure. La creación de un nuevo producto o tecnología lleva mucho tiempo y entraña muchas etapas: la primera consiste en realizar un diseño eficaz; la segunda, en fabricar un prototipo que se tiene que poner a prueba en condiciones reales. Si el prototipo no resulta viable, es preciso volver a diseñarlo; sólo entonces puede comenzar la fabricación en serie de un artículo. Este proceso se lleva a cabo frente a una fuerte competencia de otros materiales e implica un gran riesgo financiero. Las principales empresas de aluminio están casi siempre dispuestas a correr ese riesgo, con la esperanza de obtener un buen rendimiento financiero y una mayor expansión de los mercados del aluminio. En los países que cuentan con pequeños productores independientes de aluminio o en los que la industria del aluminio forma parte del sector público, el Estado tiene a menudo que subvencionar esas empresas para contribuir a reestructurar la distribución de la producción del país.

Con todo, la intervención del Estado sólo será eficaz si se ajusta a una estrategia económica de gran alcance para un país o zona. La industria real o potencial del aluminio puede constituir un factor importante en la modelación del destino económico de un país. El establecimiento de las bases de una industria de aluminio económicamente sólida y viable requiere una reflexión metódica, prudencia y paciencia.

Si es factible, al establecer una industria del aluminio, la meta debe ser el crear el mayor número de etapas de producción que sea posible. Se ha de elaborar un programa a largo plazo; los programas de inversiones y desarrollo se deben coordinar en cada etapa de integración teniendo especialmente en cuenta las perspectivas del mercado. Se han de tomar también en consideración las posibilidades de sustitución de otros materiales por el aluminio.

En Hungría, por ejemplo, la industria plenamente integrada del aluminio tuvo un considerable impacto sobre la economía del país. La industria del aluminio se rige por un programa central de desarrollo a largo plazo, lanzado y aprobado por el Gobierno [1, 2]. Además de tratar de los recursos de bauxita del país y abarcar todas las etapas sucesivas de la integración (fabricación de alúmina, fundición y fabricación de productos

semielaborados), establece igualmente metas de gran alcance para promover las industrias de usos finales del aluminio. Se consagra particular atención a la sustitución de otros materiales estructurales por el aluminio siempre que resulte tecnológica y económicamente factible. Los objetivos de las investigaciones a largo plazo y los detalles adicionales de desarrollo técnico forman parte integrante del programa central de desarrollo [3, 4]. También se incluyen planes para que el aluminio sustituya a otros materiales estructurales y con ese fin se han creado instalaciones.

Al establecer las prioridades, las autoridades prestan pleno apoyo moral y financiero a las investigaciones, el diseño, la realización de prototipos y la explotación de plantas experimentales. El logro de los objetivos incorporados al programa central de desarrollo está controlado por un comité de investigación, en el que están representadas todas las partes interesadas. El comité coordina también la labor de las instituciones de investigación y de diseño con la de las empresas industriales, prepara evaluaciones periódicas de los logros y los fracasos y somete recomendaciones a las autoridades estatales. Dado que los organismos estatales, las instituciones científicas y las empresas a menudo tienen intereses y obligaciones financieras contradictorios y los riesgos que se han de compartir al lanzar nuevos proyectos pueden ser considerables, esta modalidad de organización parece ser la solución óptima.

¿Qué grado de intervención estatal es necesaria para dirigir una industria del aluminio con eficacia? Esta pregunta es difícil de contestar, ya que la situación difiere de un país a otro en función del sistema y de la estructura económicos, así como de las posibilidades potenciales de la industria del aluminio nacional. La conquista de nuevos mercados para el aluminio y el empleo del aluminio como sustitutivo de otros materiales estructurales no es un proceso espontáneo. Los consumidores frecuentemente oponen una resistencia innata o titubean antes de aceptar algo nuevo; la mayor parte de los consumidores esperan que las nuevas ideas se les presenten en una forma elaborada. La realización de nuevos proyectos suele entrañar elevados gastos de capital y un enorme esfuerzo humano. En los países desarrollados la industria del aluminio es dirigida por grandes empresas que disponen de los recursos necesarios para hacer frente a los riesgos y penetrar en nuevos mercados, vendiendo sus productos al mejor postor. De ser necesario, compran fábricas más pequeñas, establecen filiales o montan empresas mixtas. En los países desarrollados la función de los organismos estatales y el sector público en la industria del aluminio es habitualmente una función subordinada. La situación en las economías de planificación centra-

lizada es diferente: la fijación de metas a largo plazo y la introducción de medidas organizativas para aplicarlas son tareas que incumben a los organismos públicos. Además de estar encargados del control y de la coordinación de las diferentes

ramas industriales, los organismos estatales comparten también frecuentemente los riesgos financieros de los proyectos lanzados y establecen prioridades para impulsar los esfuerzos y las innovaciones de desarrollo técnico.

Referencias

1. F. Levardi, "Programme approved by the government for the development of the aluminium industry", *Magyar Aluminium*, vol. 7, No. 5 (1970) págs. 129-133.
2. L. Doza, "Central Development Programme of the Hungarian Aluminium Industry", *Magyar Aluminium*, vol. 14, No. 1 (1977), págs. 1-5.
3. M. Horányi y A. Domony, "Main technical development targets embodied in the development programme of the aluminium industry", *Magyar Aluminium*, vol. 8, No. 10 (1971), págs. 305-310.
4. A. Domony y G. Temesszentandrasi, "Domestic aluminium consumption in Hungary and the introduction of new products", *Magyar Aluminium*, vol. 14, No. 1 (1977), págs. 6-11.

ABSTRACT

The present volume of the Development and Transfer of Technology Series is based on a study entitled "The economic use of aluminium" (UNIDO/IOD.335). The study outlines the factors affecting aluminium production and consumption and the main reasons for using aluminium and describes how and under what circumstances aluminium consumption expands in a developing country. Although the study reflects largely experience in Hungary, it is applicable in a general sense to many countries. It is designed to reveal the economic effects of establishing and developing an aluminium industry. While reporting experience in various areas, it cites several concrete examples of design, prototype manufacture and production on an industrial scale. It deals with organizational matters, the importance of staff training and the intervention, if necessary, by various government agencies with a view to boosting aluminium consumption.

In chapter I, world production and world market prices of diverse structural materials are analysed in relation to aluminium, and the effects of production and prices on the raw material consumption pattern in some countries and parts of the world are discussed. Forecasts to the end of the century are made.

The second chapter describes how aluminium may successfully replace other structural materials, even if there is serious competition. It emphasizes that the steep rise in aluminium consumption over the past decades has not been a spontaneous but rather a carefully premeditated and well-engineered process. The driving force of techno-economic advance may be a Government, a major aluminium company or a group of firms interested in processing aluminium.

The third chapter discusses what organizational steps have to be taken in acquiring and adopting know-how and how to take advantage of know-how in the most effective manner. In this connection, the Hungarian experience is dwelt on at some length to demonstrate how this goal may best be achieved.

The fourth chapter is devoted to existing or prospective demand by electrical and chemical engineering, breweries, dairies, food packaging, the building trade, the manufacture of heat exchangers and transport vehicles, as well as agriculture. Several concrete examples from these and related fields are cited.

The fifth chapter is a summary of measures that are necessary to promote aluminium usage. Increasing aluminium consumption and finding new economically feasible outlets are, in the first place, a major concern of the aluminium raw material producers; a wider spectrum of new end-uses is creating an added demand for aluminium in the form of metal and semi-manufactures. Hence, it is desirable to set up advisory bodies to co-ordinate solutions to the technological and marketing problems of smelters, mills and finished product manufacturers. Furthermore, it is expedient to launch long-term programmes for technical development and business strategies. Development targets have to be brought into line with anticipated market demand: a case in point is Hungary, where development concepts of the vertically integrated aluminium industry (bauxite operations, alumina production, aluminium smelting and the manufacture of semi-fabricated products) are always closely linked to the wishes of end-using industries and consumers.

No universal formula is presented; development of the aluminium industry will depend on the economic structure of a country and the position of its local aluminium industry.

SOMMAIRE

Le présent numéro de la série "Mise au point et transfert des techniques" a été établi à partir d'une étude intitulée "La rentabilité de l'emploi de l'aluminium" (UNIDO/IOD.335). Cette étude s'attache à décrire les divers facteurs qui influent sur la production et la consommation d'aluminium, ainsi que les principales raisons qui poussent à utiliser ce métal, et montre comment et dans quelles circonstances sa consommation augmente dans un pays en développement. Bien qu'essentiellement fondées sur l'expérience hongroise, les conclusions de l'étude s'appliquent de manière générale à de nombreux pays. Elle se propose de décrire l'impact économique de la création et du développement d'une industrie de l'aluminium. Outre un exposé des résultats recueillis dans divers domaines, on y trouve des exemples concrets de conception d'installations, de fabrication de prototypes et de production à l'échelle industrielle. Enfin, elle traite des problèmes d'organisation, de l'importance de la formation et de l'intervention, le cas échéant, des divers organismes officiels s'efforçant de promouvoir la consommation d'aluminium.

Au chapitre premier, on s'attache à analyser la production et les prix mondiaux de divers matériaux de construction en les comparant aux chiffres correspondants pour l'aluminium et l'on étudie les effets du niveau de la production et des prix sur l'évolution de la consommation de l'aluminium sous forme de matière première dans certains pays et régions du monde. On y trouve des prévisions jusqu'à la fin du siècle.

Dans le deuxième chapitre, on expose de quelle manière l'aluminium peut remplacer avantageusement d'autres matériaux de construction, même face à une vive concurrence. On y souligne que l'augmentation très rapide de la consommation d'aluminium au cours des dernières décennies n'a pas été un phénomène spontané mais qu'elle s'est toujours inscrite dans une stratégie bien agencée. Le moteur du progrès techno-économique peut être soit l'Etat, soit une grande entreprise de production d'aluminium, soit un groupe d'entreprises souhaitant traiter l'aluminium.

Dans le troisième chapitre, on s'efforce de déterminer quelles mesures organisationnelles doivent être prises lors de l'acquisition de savoir-faire pour pouvoir l'utiliser de manière optimale. On puise très largement dans l'expérience hongroise afin de montrer la meilleure manière d'atteindre cet objectif.

Le quatrième chapitre est consacré à la demande actuelle ou future de secteurs comme le génie électrique, le génie chimique, les brasseries, les laiteries, l'emballage des denrées alimentaires, le bâtiment, la fabrication des échangeurs de chaleur et des véhicules de transport ainsi que l'agriculture. On y trouve plusieurs exemples concrets pris dans ces domaines et d'autres domaines connexes.

Le cinquième chapitre est un résumé des mesures qu'il convient de prendre afin de promouvoir l'utilisation de l'aluminium. L'augmentation de la consommation d'aluminium et la recherche de nouveaux débouchés intéressent en premier lieu les producteurs de cette matière première; l'élargissement de la gamme des utilisations finales crée une demande accrue pour l'aluminium sous forme de métal ou de demi-produits. Aussi conviendrait-il de créer des organismes consultatifs chargés de coordonner les réponses à apporter aux problèmes technologiques et aux problèmes de marketing des fonderies, des usines métallurgiques et des fabricants de produits finis. Par ailleurs, le moment est venu de lancer des programmes à long terme visant à assurer le développement technique et à mettre en place des stratégies commerciales. La mise au point de nouveaux produits doit tenir compte de la demande prévue : c'est le cas en Hongrie où l'évolution de la production de ce secteur intégré verticalement qu'est l'industrie de l'aluminium (extraction de la bauxite, production d'alumine, fonderies d'aluminium et fabrication de demi-produits) est toujours étroitement liée aux exigences des industries utilisatrices et des consommateurs.

Aucun modèle universel n'est proposé; le développement de l'industrie de l'aluminium dépend de la structure économique du pays et de la place qu'y occupe l'industrie de l'aluminium.

La serie "Desarrollo y transferencia de tecnología", de la ONUDI

Número

- * 1. Experiencias nacionales en la adquisición de tecnología (ID/187). Núm. de venta: S.78.II.B.7. Precio: \$8,00 (EE.UU.)
2. UNIDO Abstracts on Technology Transfer (ID/189) (Introducción en español, francés, inglés y ruso)
- * 3. La fabricación de vehículos económicos en los países en desarrollo (ID/193). Núm. de venta: S.78.II.B.8. Precio: \$3,00 (EE.UU.)
4. Manual de instrumentación y control de calidad en la industria textil (ID/200)
- * 5. Tecnología para aprovechar la energía solar (ID/202). Núm. de venta: S.78.II.B.6. Precio: \$10,00 (EE.UU.)
6. Técnicas audiovisuales para la industria (ID/203)
7. Tecnologías procedentes de países en desarrollo (I) (ID/208)
Tecnologías procedentes de países en desarrollo (II) (ID/246)
8. Tecnologías de procesos para la fabricación de fertilizantes fosfatados (ID/209)
9. Tecnologías de procesos para la fabricación de fertilizantes nitrogenados (ID/211)
- *10. Fábricas de ladrillos: perfil de una industria (ID/212). Núm. de venta: S.78.II.B.9. Precio: \$4,00 (EE.UU.)
11. Perfiles tecnológicos de la industria siderúrgica (ID/218)
12. Pautas para la evaluación de acuerdos de transferencia de tecnología (ID/233)
13. Manual de fertilizantes (ID/250)
14. Casos prácticos de adquisición de tecnología (I) (ID/257)
15. Autosuficiencia tecnológica de los países en desarrollo: hacia la formulación de estrategias operacionales (ID/262)
16. Plantas de desarrollo de producción de metales (ID/271)
17. Exportaciones tecnológicas de países en desarrollo (I): Argentina y Portugal (ID/289)
21. El uso económico del aluminio (ID/324)
22. La informática al servicio del desarrollo industrial (ID/326)

En América del Norte, Europa y Japón pueden obtenerse gratuitamente todas las publicaciones arriba enumeradas excepto las marcadas con un asterisco, que en esas zonas se distribuyen, al precio indicado, en una edición para la venta publicada a parte. En el resto del mundo pueden obtenerse gratuitamente todas las publicaciones arriba enumeradas, sin excepción alguna.

Las solicitudes de ejemplares gratuitos deben enviarse, con indicación del título y la signatura (ID/ . . .) de la publicación, a: Redacción, *Boletín Informativo de la ONUDI*, P.O. Box 300, A-1400 Viena (Austria).

Las publicaciones de venta deben encargarse, por título y número de venta, a los distribuidores autorizados de publicaciones de la Naciones Unidas o a una de las oficinas siguientes:

Para Europa

Sección de Ventas
United Nations Office
CH-1211 Ginebra 10
Suiza

Para América del Norte y Japón

Sección de Ventas
United Nations
Nueva York, Nueva York 10017
Estados Unidos de América

