

# Hydrogas

Recuperación de gases residuales de la  
industria del reciclaje de aluminio  
secundario para su aprovechamiento  
energético

# CONAMA 2024

LIFE HYDROGAS- RECUPERACIÓN DE GASES RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL  
RECICLAJE DE ALUMINIO SECUNDARIO

---

**Autor Principal:** Jorge Romero Polanco (Befesa Aluminio)

**Otros autores:** Jessica Montero García (Befesa Aluminio)

# CONAMA 2024

LIFE HYDROGAS- RECUPERACIÓN DE GASES RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL  
RECICLAJE DE ALUMINIO SECUNDARIO

---

## ÍNDICE

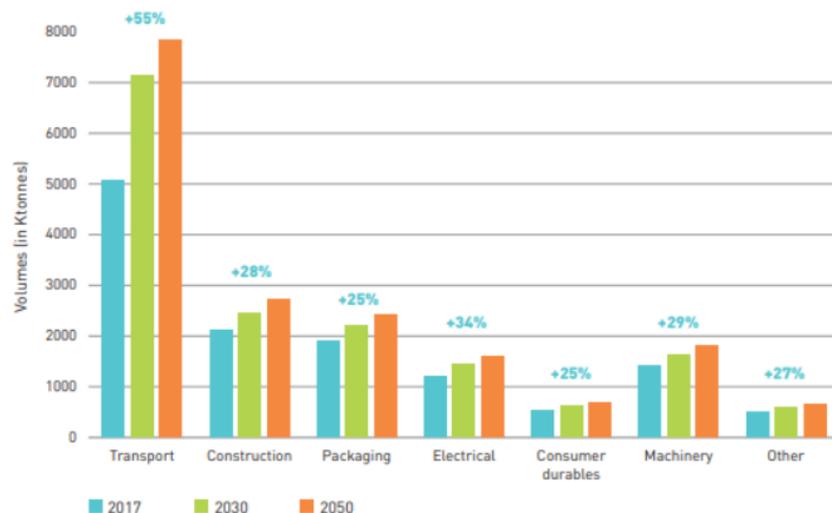
### Contenido

ÍNDICE.....	2
1. Contexto.....	3
2. Descripción.....	5
3. Objetivos.....	8
4. Impacto.....	8
5. Conclusiones.....	11
6. Agradecimientos.....	11
7. Bibliografía.....	11

## 1. CONTEXTO

### Industria de reciclaje de aluminio

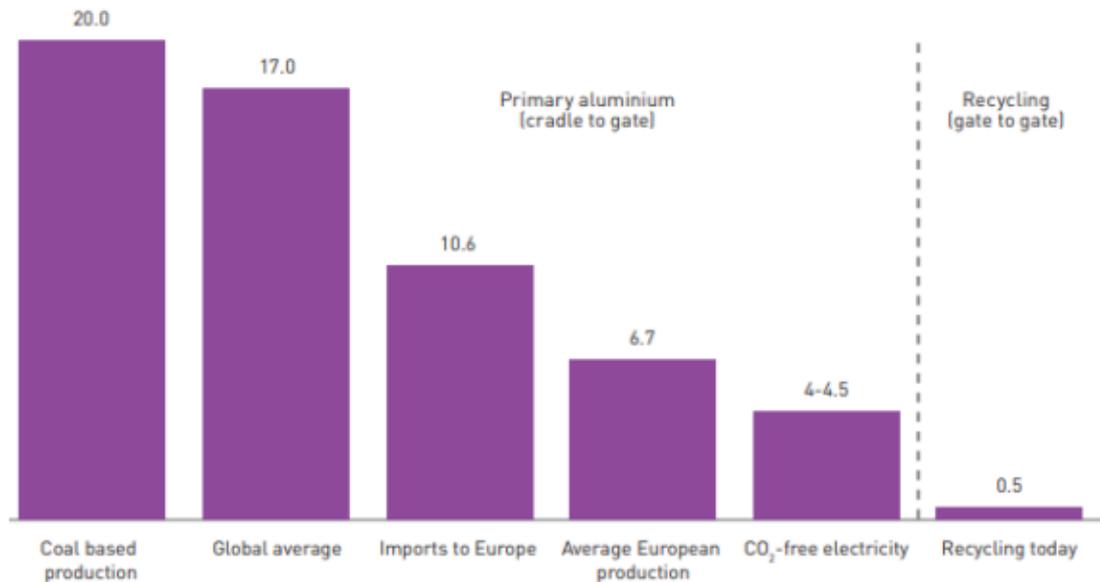
El aluminio es un material versátil y ampliamente utilizado en sectores como la construcción, automotriz, aeroespacial y embalaje. El mercado global de aluminio se proyecta crecer de \$168.84 mil millones en 2022 a \$255.91 mil millones en 2029 (Aluminium Market Size, Industry Trends, Growth Analysis, 2032, s. f.), impulsado por su capacidad de ser 100% reciclable sin perder sus propiedades originales.



**Ilustración 1: Demanda de aluminio en Europa por sector (Mton de aluminio para los años 2017, 2030 y 2050)**

El reciclaje de aluminio es clave en la sostenibilidad global, aportando beneficios como:

- **Conservación de recursos:** Reduce la necesidad de extraer y refinar bauxita, minimizando el impacto ambiental.
- **Eficiencia energética:** Reciclar aluminio requiere hasta 95% menos energía que producirlo de materias primas.
- **Reducción de emisiones:** Disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub>, un factor crucial en la lucha contra el cambio climático.



**Ilustración 2: Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de aluminio primario y del proceso de reciclaje (ton de CO2 equivalente/ton de producción)**

- **Beneficios económicos:** Crea empleos y reduce los costos de producción para las industrias.

Europa se enfrenta a una creciente dependencia de importaciones para satisfacer la demanda de aluminio, debido a crisis energéticas y desequilibrios comerciales. A pesar del crecimiento de la industria de reciclaje de aluminio en Europa, los objetivos de reciclaje para 2025 establecidos por la Unión Europea parecen difíciles de alcanzar, con solo un 50% de probabilidad de éxito según un informe de 2023 (*Waste Early Warning Report*, s. f.).

El sector del aluminio, responsable de 270 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2022, debe acelerar su reducción de emisiones para alinearse con el objetivo de cero emisiones netas para 2050. Para ello, el reciclaje de aluminio es vital, pero se necesitan soluciones innovadoras para alcanzar los objetivos ambientales y avanzar hacia una economía circular (*Aluminium - IEA*, s. f.).

El reciclaje de aluminio a través de sales fundentes es una técnica clave para recuperar el aluminio a partir de chatarras de diversas fuentes. Este proceso utiliza sales (NaCl/KCl) para evitar la oxidación del metal durante la fusión, lo que mejora la recuperación del aluminio. Sin embargo, este proceso genera un residuo peligroso llamado **escoria salina**, cuya gestión es un desafío ambiental debido a su volumen y peligrosidad.

En Europa, aunque hay más de 270 plantas de procesamiento de aluminio, solo 10 instalaciones de reciclaje de escorias salinas operan, con Befesa controlando el 50% del mercado, tratando más de 480.000 toneladas anuales de este residuo peligroso. A través de su proceso de cinco etapas, Befesa Aluminio recupera 4 productos de valor concentrados de aluminio, sales fundentes, como óxido de aluminio secundario y sulfato amónico. Como resultado de este tratamiento, se produce una corriente gaseosa residual, rica en H<sub>2</sub>, que actualmente está siendo tratada por combustión controlada en una antorcha.

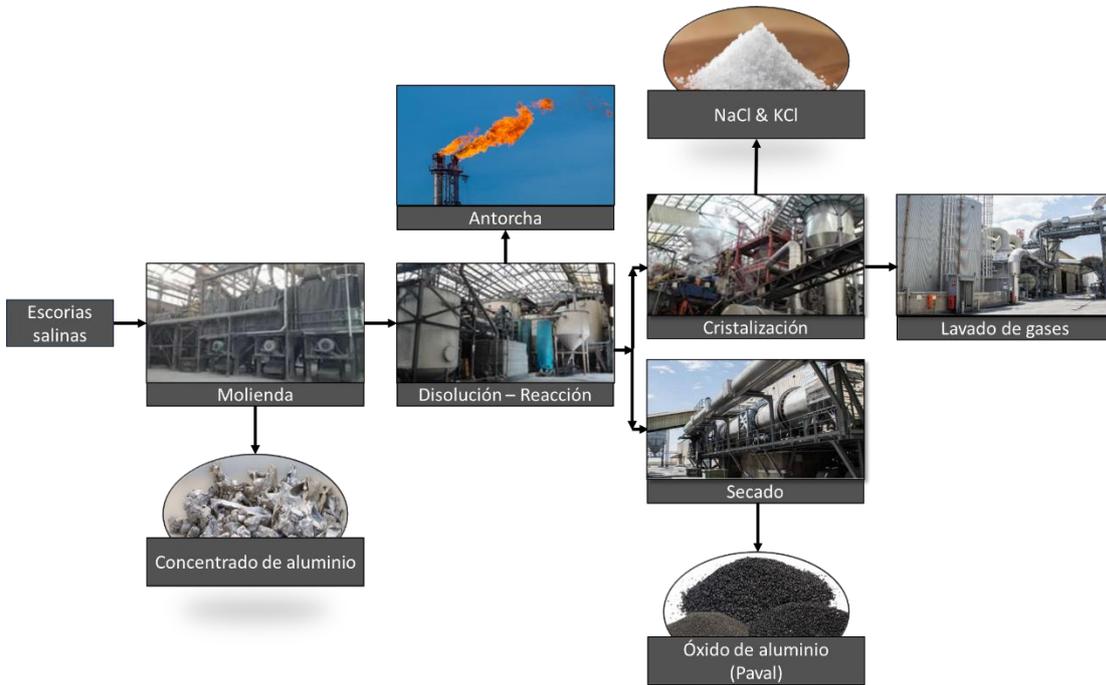
La corriente residual procedente del proceso de valorización de las escorias salinas contiene un 70-90% de H<sub>2</sub> y 10-20% de CH<sub>4</sub> como elementos principales, pero está considerada una corriente compleja por otros elementos que contiene, como el NH<sub>3</sub> y en su menor abundancia sustancias como siloxanos y H<sub>2</sub>S. Al tratarse de una corriente gaseosa procedente de residuos no solo presenta una variabilidad en su composición química, sino que presenta fluctuaciones significativas en sus características físicas. Por todo ello, el aprovechamiento energético de la corriente no es directo, y se requiere de un acondicionamiento de la corriente que permita recuperar sus componentes para su posterior uso energético.

Con la industria del aluminio en auge, el proyecto LIFE Hydrogas centra sus esfuerzos en demostrar el uso de la corriente gaseosa residual procedente de la valorización de las escorias salinas mediante la construcción de una instalación de tratamiento, separación y aprovechamiento energético, que conduciría a la reducción de la huella ambiental del proceso de tratamiento de escorias salinas y eliminando así la dependencia de los combustibles fósiles.

## 2. DESCRIPCIÓN

El proceso de tratamiento de escorias salinas está compuesto por varias etapas, como se ha mencionado previamente, entre ellas se incluyen:

1. **Molienda:** Reducción del tamaño de partículas. Permite separar una fracción concentrado de aluminio.
2. **Disolución-reacción:** Neutralización de las especies reactivas y disolución de sales. Incluye una decantación para separar óxidos de aluminio de salmuera. **Es en esta etapa donde se genera la corriente de gases objeto del proyecto LIFE Hydrogas.**
3. **Filtración:** Separación por medio de filtros prensa y filtros banda. Obtenemos un producto sólido compuesto mayoritariamente por óxido de aluminio y una salmuera que alimentará a la etapa posterior de cristalización.
4. **Secado:** Secado del óxido de aluminio.
5. **Cristalización:** Recuperación de sales y agua en un ciclo cerrado.
6. **Lavado de gases:** Purificación de gases y obtención de sulfato de amonio.



**Ilustración 3: Proceso de reciclado de escorias salinas de Befesa.**

A través de su proceso de cinco etapas, Befesa Aluminio recupera 4 productos de valor: aluminio, sales fundentes, sulfato amónico y forma productos inertes, como óxido de aluminio secundario, pero la corriente de gases rica en hidrogeno producida en la etapa de reacción, actualmente se trata mediante combustión controlada en antorcha, lo que hace que no está siendo aprovechado su potencial energético.

De la corriente de gas producida en la etapa de disolución se extraerán 750 Nm<sup>3</sup>/h para su recuperación térmica. La corriente presenta potencial energético, siendo su composición la que aparece en la tabla.

**Tabla 1: Caracterización Hydrogas**

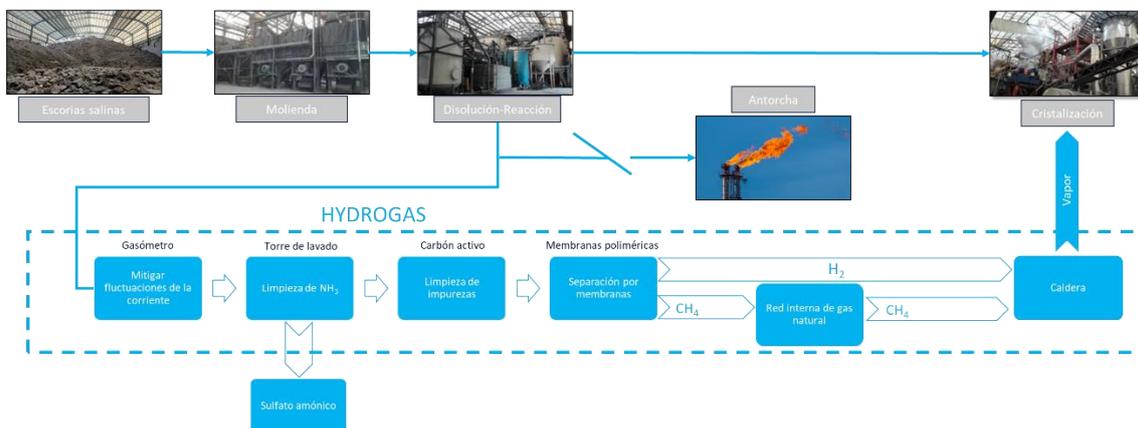
Compuesto	%Composición
H <sub>2</sub>	70 – 90 %
CH <sub>4</sub>	5 – 15 %
NH <sub>3</sub>	1 – 10 %
O <sub>2</sub>	0 – 4 %
N <sub>2</sub>	0,3 – 2,5 %

H <sub>2</sub> S	0 – 50 ppm
Siloxanos	1,5 – 60 mg/Nm <sup>3</sup>

Nos encontramos con una corriente de gases de una alta complejidad, tanto física como química. Por una parte, su composición incluye un elevado número de compuestos, considerados impurezas, que deberán ser retirados, añadiendo además el amplio rango de composiciones que tenemos en cada uno de ellos. Por otra parte, sus características físicas suponen también un reto, ya que debemos enfrentarnos a fuertes fluctuaciones en parámetros críticos para el diseño como son el caudal y la temperatura.

La solución que se presenta pasa por la combinación de varias tecnologías con el fin de conseguir, a partir de la corriente de gas residual, dos corrientes separadas de hidrógeno y metano. La corriente de metano se inyectará en la red interna de gas natural de Befesa Aluminio mientras que la corriente con alta pureza de hidrógeno irá destinada a su aprovechamiento instantáneo como combustible en una caldera industrial para la generación de vapor. El vapor producido irá destinado al autoconsumo de la propia planta, con lo que se reducirá el consumo de gas natural de forma proporcional a la energía térmica que se recupere de la corriente.

Para lograr el objetivo, el proyecto LIFE HYDROGAS ha planteado una hoja de ruta que permitirá tratar, separar y aprovechar energéticamente 750 Nm<sup>3</sup>/h.



**Ilustración 4: Hoja de ruta del proyecto Hydrogas**

Como paso inicial, se debe adecuar la temperatura de la corriente mediante un enfriamiento en un intercambiador de carcasa y tubos, condensando la humedad del gas. Se contará con un gasómetro que amortigua las fluctuaciones de caudal del proceso de tratamiento de escorias salinas. Siguiendo al gasómetro nos encontramos una etapa de limpieza formada por una torre de lavado en la que se retirará el amoniaco mediante neutralización con ácido sulfúrico generando sulfato de amonio como producto comercial. Como parte de la etapa de limpieza contamos también con filtros de carbón activo que retendrán el amoniaco no captado en la torre de lavado, además de retener las otras impurezas como son el ácido sulfhídrico y los siloxanos. Tras la etapa de limpieza, se obtendrá una corriente con hidrógeno y metano que se separarán

en dos corrientes por medio de membranas poliméricas. Como se ha mencionado antes, la corriente de metano obtenida se inyectará en la red interna de gas natural de Befesa y la corriente de hidrógeno se quemará directamente en una caldera industrial para la generación de vapor que será empleado en la etapa de cristalización del proceso de tratamiento de escorias salinas.

## 3. OBJETIVOS

El proyecto Hydrogas surge de la necesidad de disponer de una solución potencial para transformar la industria del tratamiento de escorias salinas hacia una economía circular, reduciendo emisiones e incrementando la eficiencia. Actualmente, ninguna planta de tratamiento de escorias salinas ha implementado esta solución debido a su complejidad técnica.

El objetivo de Befesa es ser los primeros en implementar una solución innovadora capaz de estabilizar una corriente de gas residual, limpiarla y separarla en dos corrientes de hidrógeno y metano de alta pureza que serán empleados como alternativa al gas natural. La planta se ubicará en las instalaciones de Befesa Aluminio en Valladolid y el ahorro energético conllevará una reducción de la huella ambiental del proceso del 19%.

Entre los objetivos específicos destacamos:

- Demostrar a escala industrial la tecnología de separación de gases por membranas en una corriente rica en hidrógeno en conjunto con una etapa de limpieza previa.
- Caracterizar la corriente residual Hydrogas y generar conocimiento que se aplique en otras plantas de tratamiento de escorias salinas.
- Probar y validar la planta demostrativa Hydrogas bajo diversas condiciones operativas, etapa por etapa y a nivel global.
- Reducir emisiones de gases de efecto invernadero sustituyendo un combustible fósil, como es el gas natural, por hidrógeno y metano recuperados de la corriente residual.
- Reducir el gasto derivado del consumo de gas natural y generar un beneficio por la venta de derivados de NH<sub>3</sub>.
- Crear puestos de trabajo sostenible en el largo plazo.
- Replicar los resultados en otras plantas de tratamiento de escorias salinas durante los 5 años siguientes a la finalización del proyecto.

## 4. IMPACTO

El proyecto LIFE Hydrogas se centrará en maximizar el impacto ambiental conseguido mediante la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero. No obstante, podemos dividir los

impactos ambientales conseguidos en: recuperación de compuestos, energía y emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Recuperación de compuestos

Con el tratamiento de 750 Nm<sup>3</sup>/h de la corriente residual Hydrogas se espera conseguir como principales corrientes de salida:

- Corriente de hidrógeno: 3.512.761,56 Nm<sup>3</sup>/año.
- Corriente de metano: 894.718,44 Nm<sup>3</sup>/año.
- Corriente de sulfato amónico: 5.769,79 t/año.

En este proceso, se recuperará otro producto de valor como derivados amoniacales (251,9 t/año).

## Energía

Siendo el objetivo final el aprovechamiento energético y calculando la capacidad de cada corriente tendríamos:

- Corriente de hidrógeno. Con el volumen anteriormente indicado, un poder calorífico de 3,01 kWh/Nm<sup>3</sup> y una eficiencia de conversión térmica del 90%, supone 9.518,62 MWh/año.
- Corriente de metano. Con el volumen anteriormente indicado, un poder calorífico de 10,43 kWh/Nm<sup>3</sup> y una eficiencia de conversión térmica del 90%, supone 8.398,72 MWh/año.

## Emisiones de CO<sub>2</sub>

Además, se consiguen reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de forma proporcional a la reducción de gas natural. Tenemos los siguientes escenarios:

- Escenario actual: Las emisiones de CO<sub>2</sub> vienen de dos fuentes, la combustión de la corriente Hydrogas en la antorcha y la combustión de gas natural para cubrir las necesidades del proceso (49.608 MWh/año).
- Escenario tras el proyecto: Se empleará parte de la corriente Hydrogas para aprovechamiento energético, pero todo el gas residual seguirá siendo quemado generando emisiones. La reducción proviene de la cantidad de gas natural empleada, que será de 31.690,66 MWh/año. La diferencia con respecto al escenario actual es la energía obtenida de las corrientes de hidrógeno y metano.

El ahorro de 17.917 MWh/año de gas natural supone una reducción de 3.619 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente al año.

# CONAMA 2024

## LIFE HYDROGAS- RECUPERACIÓN DE GASES RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE DE ALUMINIO SECUNDARIO

A modo de resumen, todos estos datos quedarían recogidos en la siguiente tabla:

Impacto	Cantidad	Unidades
H <sub>2</sub>	3.512.761,56	Nm <sup>3</sup> /año
H <sub>2</sub>	9.518,62	MWh/año
CH <sub>4</sub>	894.718,44	Nm <sup>3</sup> /año
H <sub>2</sub>	8.398,72	MWh/año
Energía corriente Hydrogas	17.917,34	MWh/año
Reducción de emisiones	3.618,59	t CO <sub>2</sub> equivalente
Reducción de Gas Natural	1.706.413,57	Nm <sup>3</sup> /año

## Impacto futuro

Una vez finalizado el proyecto, el impacto se hará extensivo en los siguientes ámbitos:

- A nivel local: Mediante un escalado que permita aumentar la capacidad de tratamiento de 750 Nm<sup>3</sup>/h a la totalidad de la corriente de gas residual generado (2.500 Nm<sup>3</sup>/h). Esto generará un excedente de energía que podrá ser suministrado a las empresas cercanas. Con el escalado se conseguiría eliminar completamente la dependencia de combustibles fósiles en el proceso de tratamiento de escorias salinas.
- A nivel europeo: Mediante la implantación de esta solución en las diversas plantas de tratamiento de escorias salinas de Befesa Aluminio repartidas por Europa.



Ilustración 5: Impacto a nivel europeo.

Las plantas alemanas de Lünen y Hannover tienen una producción de gas combinada de 2770 Nm<sup>3</sup>/h. La planta de Polonia se encuentra en fase de diseño y estará operativa en los próximos años con una producción de gas estimada de 950 Nm<sup>3</sup>/h.

## 5. CONCLUSIONES

En Europa se tratan 1 millón de toneladas de escorias salinas al año, de las cuales 480.000 son valorizadas por Befesa. Esto conlleva una producción de gas residual energéticamente aprovechable de 40.220.640 Nm<sup>3</sup>/año, además de la nueva planta de Polonia que producirá 7.250.400 Nm<sup>3</sup>/año.

En los 5 años siguientes a la finalización del proyecto, tratar esta cantidad de gas supondría:

- Un ahorro conjunto de 148.594 MWh/año.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en 30.010 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente al año.
- Recuperación de compuestos (hidrógeno, metano y derivados de amoníaco) de 10.929 t al año.

El éxito del proyecto supondría, a futuro, una reducción del 50,75% de las emisiones de gases de efecto invernadero en el proceso de tratamiento de escorias salinas de las plantas de Befesa Aluminio, siendo un gran paso en el proceso de descarbonización y la reducción del impacto ambiental en la industria de producción de aluminio secundario, promoviendo así el establecimiento de una economía circular en Europa.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al programa LIFE 2023 por haber financiado el proyecto Hydrogas bajo el acuerdo Life-2023-SAP-CLIMA.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

[1] *Aluminium Market Size, Industry Trends, Growth Analysis, 2032.* (s. f.).  
<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/aluminium-market-100233>

# CONAMA 2024

LIFE HYDROGAS- RECUPERACIÓN DE GASES RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL  
RECICLAJE DE ALUMINIO SECUNDARIO

---

[2] *Waste early warning report.* (s. f.). Environment.  
[https://environment.ec.europa.eu/publications/waste-early-warning-report\\_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/waste-early-warning-report_en)

[3] *Aluminium - IEA.* (s. f.). IEA. <https://www.iea.org/energy-system/industry/aluminium>