

Minimizar la huella de carbono de las piezas fundidas de aluminio A356



Jorge Zorrilla,
Hormesa México



Martin Hartlieb,
Viami International Inc.

Las necesidades del mundo están cambiando y como una de las consecuencias de ello cada vez son más las empresas que tienen que calcular y minimizar su huella de carbono para poder cumplir con los objetivos de sostenibilidad y economía circular exigidos por

la legislación y la sociedad, dando como resultado inventos que contribuyen activamente a la reducción del CO₂, como por ejemplo la creación de las primeras "llantas recicladas neutras en carbono" así como la utilización de rines reciclados de Eccomelt¹ por parte de la empresa Ronal Group.

Las fundiciones han buscado apegarse a estas exigencias ya que el proceso para fundir el metal es lo que más contribuye a la huella de carbono, como es el caso de las piezas fundidas del A356 en las cuales su fuente más grande de CO₂ proviene del metal, especialmente si se utiliza aluminio primario ya que según el Instituto Internacional del Aluminio (IAI) la huella de carbono media global de este tipo de Aluminio es de 16,8 t CO₂e/t Al; sin embargo esto puede llegar a variar dependiendo del tipo de energía utilizada en el proceso llegando a ser de más 20 t CO₂e/t Al si la electricidad está producida con carbón o de solamente unos 4 t CO₂e/t Al si proviene de energía renovable.

El contenido reciclado puede ayudar a bajar esta cifra, los lingotes de A356 producidos con 80% de reciclado, que pueden tener menos de 2 t CO₂e/t Al, y al 95% de contenido reciclado se puede llegar incluso por debajo de 1 t CO₂e/t Al, y con 95% de contenido reciclado se puede llegar incluso por debajo de 1 t CO₂e/t Al.

Esto también puede apreciarse en los rines reutilizados (triturados y limpios) que se reciclan directamente sin tener que ser fundidos en lingotes los cuales poseen una huella de carbono aún mucho más baja. En el caso de eccomelt356.2 su huella de carbono (cradle-to-gate / cuna a la puerta) es de solo 0.136 t CO₂e/t Al.

Ver en Gráfico Comparación de la huella de carbono de diferentes tipos de A356

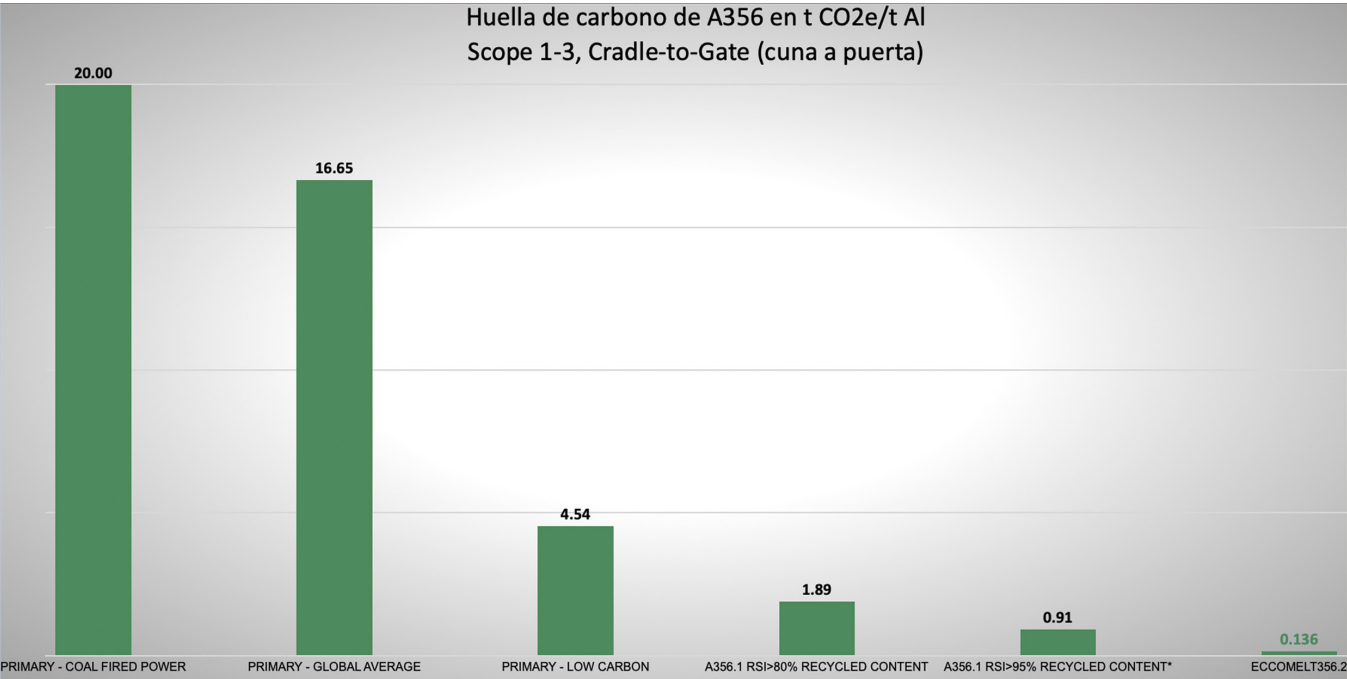
Por lo tanto, el uso de lingotes A356.2 primario de baja huella de carbono, el metal reciclado de alta calidad, así como el reciclaje interno son piezas claves para la reducción de CO₂.

Con respecto a la huella de carbono que posee la chatarra no se tiene aún un estándar ni un consenso dentro de la industria. Para algunos, cualquier chatarra pre-consumidor debería tener su huella de carbono de origen (como el producto que se ha producido con el mismo metal).

Para otros (la mayoría en este momento), solamente el producto debería recibir la huella de carbono total de todo el metal utilizado para su producción y cualquier chatarra creada durante su producción debería de ser libre de huella de carbono.

Para evitar esta cuestión más bien filosófica, lo más simple para las fundiciones es reciclar su chatarra internamente ya que todos concuerdan que cualquier chatarra post-consumidor reinicia de “cero” las emisiones de CO₂ en el depósito de chatarra.

La huella de carbono del producto causada por los procesos de fundición (fusión de metal, colada, tra-



tamiento térmico, mecanizado, etc.) suele ser de solo 0,4 - 1 t CO₂e / t Al, solo un pequeño porcentaje de la huella de carbono total del producto, y se debe principalmente a la etapa de fusión de metal, que a menudo representa más de la mitad del consumo de energía de una fundición y, por lo tanto, también de la huella de carbono. Minimizar el consumo de energía y usar fuentes de energía bajas en carbono (especialmente electricidad de energía renovable), las últimas tecnologías, las mejores prácticas para maximizar la eficiencia en todos los procesos y reciclar/reutilizar todo son imprescindibles. Pero la forma más eficiente de minimizar la huella de carbono de las piezas fundidas A356 (como de muchas otras) es maximizando el contenido de reciclaje.

Calcular la huella de carbono:

Cuando se comparan diferentes huellas de carbono de diferentes productores de aluminio y su metal o producto, es muy importante verificar que sus números sean realmente comparables y completas (es decir, se usaron los mismos métodos/estándares y límites):

El estándar más utilizado es el Estándar corporativo de informes y contabilidad de gases de efecto invernadero (**Estándar corporativo del protocolo de GEI / GHG Protocol Corporate Standard**)², que es la base de la norma ISO 14064. Este define 3 alcances:

- **Alcance 1:** emisiones directas de la empresa
- **Alcance 2:** son emisiones indirectas de la energía comprada
- **Alcance 3:** son todas las emisiones indirectas de toda la cadena de valor, incluidas las materias primas³ (y esta es la parte más difícil de calcular para la mayoría de los productores de metales y piezas fundidas).

Ya vemos que solo calcular un alcance no sirve para mucho, como por ejemplo un simple cambio del horno, de gas a eléctrico, simplemente "mueve" las emisiones del alcance 1 (directos, en el

caso del gas) al alcance 2 (indirectos, en el caso de la electricidad para hornos eléctricos, y dependiendo de la energía utilizada por la central eléctrica no es necesariamente una gran mejora).

Muchos productores de **aluminio primario** en cambio utilizan el **Estándar del Instituto Internacional del Aluminio (IAI)**⁴ que tiene 3 niveles:

Nivel 1

Son las emisiones de la electrólisis de aluminio, la fundición de lingotes, la producción de ánodos, y la producción de electricidad (básicamente, los alcances 1 y 2 del Protocolo GEI (GHG Protocol) del smelter de aluminio primario). Actualmente, esto se usa a menudo para medir y comparar lingotes (o productores) de aluminio primario y definir "aluminio con bajo contenido de carbono". Pero, a este nivel le faltan elementos muy importantes, solo capturados en los niveles 2 y 3.

Nivel 2

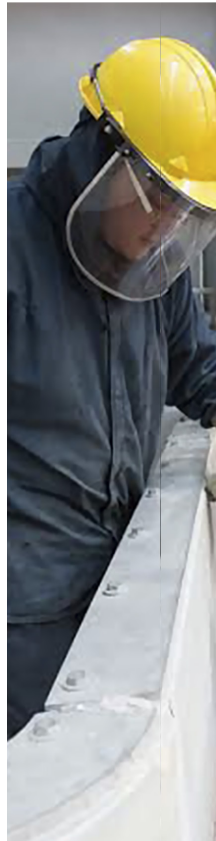
Son las emisiones directas de la extracción de bauxita y refinación de alúmina, electricidad, generación de calor y combustión de gasolina de esos procesos. La minería de bauxita representa una pequeña porción de la huella de carbono total del aluminio primario, pero la refinación de alúmina puede crear entre 0,4 y 6,8 t CO₂e/t alúmina, con un promedio mundial de 1,2 t CO₂e/t de alúmina, y se necesitan alrededor de 2 toneladas de este componente para producir 1 tonelada de aluminio.

Nivel 3

Este representa la huella de carbono completa de la cuna a la puerta de los lingotes de aluminio primario, incluidos todos los transportes de materias primas, electricidad, generación de calor y procesamiento de escoria. También incluye todos los materiales auxiliares y combustibles necesarios. Las porciones de transporte pueden ser largas ya que la cadena de valor suele estar muy dispersa.

1 y 2 del smelter).

Un análisis de CRU cubre 274 smelters y la intensidad de carbono promedio de este Nivel 1 es de 10,64 toneladas de CO₂e / t Al con un rango de intensidad de carbono de 1,57 hasta 19,7 t CO₂e / t Al. Pero sin obtener los números completos de Nivel 3 (Alcance 1-3) del lingote, esas publicaciones son solo útiles para comparar entre productores primarios (la pro-



Existen muy grandes variaciones en la huella de carbono del aluminio primario (y secundario), y estas diferencias son aún más grandes en A356, ya que hay variaciones igualmente importantes en el silicio (y magnesio), principalmente dependiendo de las fuentes de energía y tecnologías utilizadas.

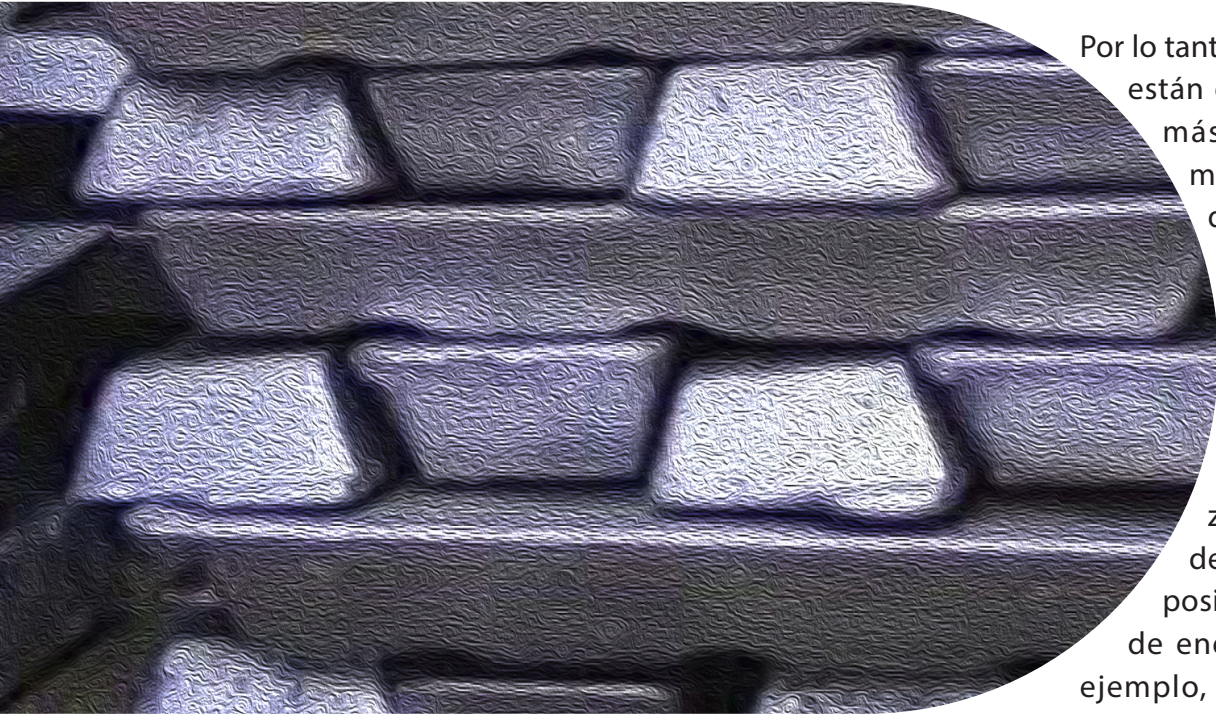
La trazabilidad a través de cadenas de valor a menudo largas, dispersas y que cambian frecuentemente, es más difícil. Por esto la mayoría de los productores primarios solo publicarán emisiones de Nivel 1 (Alcance

ducción de aluminio), pero no para las fundiciones, ya que estas pueden resultar ser engañosas, por lo que se debe tener mucho cuidado para obtener los valores adecuados y completos a la hora de calcular la huella de carbono de una fundición.

Algunos productores han comenzado a abordar este problema certificando la trazabilidad a lo largo de su cadena de valor y revelando la huella de carbono completa de sus lingotes a sus clientes interesados. Actualmente, varios productores de aluminio primario están creando marcas especiales de "aluminio

primario bajo en carbono" como "RenewAl" (Rio Tinto), "Allow" (Rusal), "Ecolum" (Alcoa) o "Reduxa" (Hydro), y algunos incluso están certificando una cadena de valor coherente desde la mina de bauxita hasta el smelter. Algunas empresas están trabajando en nuevas tecnologías (por ejemplo, ánodos inertes) que reducirán aún más la huella de carbono del aluminio primario, como Elysis, una empresa conjunta entre Rio Tinto y Alcoa. Sin embargo, todavía estamos lejos de la producción de gran volumen a escala mundial, pero estamos siendo testigos de las primas crecientes para este tipo de aluminio primario bajo en carbono. Algunos otros productores como Hydro con "CIRCAL" o Alcoa con "EcoDura" están integrando contenido reciclado en aluminio primario para reducir la huella de carbono. Se dice que el aluminio reciclado utiliza solamente el 5 % de la energía del aluminio primario y la Asocia-

Normalmente no es posible fabricar A356.2 (0,12 % Fe máx.) a partir de metal 100 % reciclado, pero si una fundición puede aceptar al menos una parte de su metal con un máximo de 0,15 % Fe, un contenido de reciclaje significativo es posible. El principal impulsor de la huella de carbono en el aluminio reciclado es, por supuesto, la parte de fusión y la pérdida de metal (especialmente debido a la chatarra sucia). Por lo tanto, Eccomelt LLC ha desarrollado un proceso de reciclaje no térmico para los rines A356. Su producto, "eccomelt356.2" con un máximo de 0,15 % Fe tiene una huella de carbono de la cuna a la puerta de solo 0,136 t CO₂/t Al, la huella de carbono más baja que se puede encontrar en la industria, y por esto lo utilizan cada vez más fundiciones para minimizar las emisiones de CO₂ de sus piezas fundidas.



Por lo tanto, las fundiciones A356 están optimizando cada vez más su combinación de metales con el objetivo de maximizar el contenido de reciclaje para minimizar su huella de carbono. Por supuesto, el reciclaje interno es imprescindible, al igual que la optimización de la eficiencia del horno y, cuando sea posible, cambiar a fuentes de energía renovables (por ejemplo, cambiando a hornos eléctricos). En la tabla 1 se ve que una

ción del Aluminio calculó su huella de carbono (de un lingote A356 hecho con 95% de aluminio reciclado) de la cuna a la puerta en 0,91 t CO₂ e/t Al, un nivel que no será alcanzable con el aluminio primario (al menos no en el corto plazo), por lo que el gran empuje ahora es aumentar el reciclaje, mejorar la separación y maximizar el contenido de reciclaje en los productos.

torre fusora a gas tiene una huella de carbono más baja que hornos reverberos y especialmente crisoles pero en hornos de crisol la reducción de CO₂ es muy grande ya de aceite a gas, y especialmente a uno eléctrico – especialmente si la electricidad viene de una fuente renovable.

Tabla 1: Comparación de diferentes hornos con respecto a su

Tabla 1

Tipo de horno de fusión		Pérdida de metal			Eficiencia energética			Energía para la fusión en kWh/ mt			Huella de carbono en t CO ₂ e/ t Al		
		baja	media	alta	baja	media	alta	alta	media	baja	alta	media	baja
Reverbero	Gas	2.0%	3.3%	5.0%	30.0%	34.0%	40.0%	1155	1002.6176	841.5	0.2333	0.2025	0.1700
Torrefusora	Gas	0.5%	2.0%	5.0%	40.0%	48.0%	60.0%	866.25	701.25	552.75	0.1750	0.1417	0.1117
Crisol	Gas	1.0%	2.0%	4.0%	7.0%	13.0%	20.0%	4902.857	2589.231	1666.5	0.9904	0.5230	0.3366
Crisol	Propano	1.0%	2.0%	4.0%	7.0%	13.0%	20.0%	4902.857	2589.231	1666.5	1.1179	0.5903	0.3800
Crisol	Petroleo	1.0%	2.0%	4.0%	7.0%	13.0%	20.0%	4902.857	2589.231	1666.5	1.3581	0.7172	0.4616
Criso - eléctrico	Carbón	0.5%	1.0%	2.0%	55.0%	57.0%	60.0%	612.000	584.737	552.75	0.1818	0.1737	0.1642
Criso - eléctrico	Gas	0.5%	1.0%	2.0%	55.0%	57.0%	60.0%	612.000	584.737	552.75	0.1236	0.1181	0.1117
Criso - eléctrico	Renovable	0.5%	1.0%	2.0%	55.0%	57.0%	60.0%	612.000	584.737	552.75	0.0061	0.0058	0.0055
Reverbero - eléctrico	Carbón	1.0%	2.0%	5.0%	60.0%	67.5%	75.0%	577.5	498.667	444.4	0.1715	0.1481	0.1320
	Gas	1.0%	2.0%	5.0%	60.0%	67.5%	75.0%	577.5	498.667	444.4	0.1167	0.1007	0.0898
	Renovable	1.0%	2.0%	5.0%	60.0%	67.5%	75.0%	577.5	498.667	444.4	0.0058	0.0050	0.0044
Crisol - Inducción	Carbón	0.5%	1.0%	3.0%	60.0%	70.0%	75.0%	566.5	476.143	442.2	0.1683	0.1414	0.1313
Crisol - Inducción	Gas	0.5%	1.0%	3.0%	60.0%	70.0%	75.0%	566.5	476.143	442.2	0.1144	0.0962	0.0893
Crisol - Inducción	Renovable	0.5%	1.0%	3.0%	60.0%	70.0%	75.0%	566.5	476.143	442.2	0.0057	0.0048	0.0044

eficiencia y huella de carbono

Junto con el contenido máximo de reciclaje externo, la presión recae sobre las mejores prácticas para la fusión y el tratamiento de la fusión. Con las tecnologías y los conocimientos adecuados, una fundición puede gestionar esto positivamente y reducir su huella de carbono y la de sus piezas fundidas en un porcentaje significativo a costos muy razonables (o incluso con un ahorro de costos - ya que el metal reciclado puede ser considerablemente más barato que el metal primario (especialmente primario con bajo contenido de carbono). Los siguientes ejemplos ilustran esto: si se hiciera una pieza fundida a partir del 100 % de lingotes A356.2 primarios "promedio global" con un rendimiento del proceso del 70 % y sin reciclaje interno, esas piezas fundidas tendrían una huella de carbono de 24,29 t CO₂e / t Al. Simplemente reciclando internamente (y reemplazando por lo tanto el 30 % de los lingotes primarios), la huella de carbono se reduce en aproximadamente una cuarta parte a 17,14 t CO₂e / t Al.

Ahora reemplazando el 20 % de los lingotes primarios con ecommelt356.2, la huella de carbono se reduce a solo la mitad del valor original, es decir, solo 12,4 t CO₂e/t Al. Si se utilizan lingotes primarios A356.2 bajos en carbono, los valores son mucho más bajos, pero la reducción de la huella de carbono mediante el

reciclaje interno y el uso de ecommelt356.2 para reemplazar los lingotes primarios tiene el mismo efecto de reducir la huella de carbono de las piezas fundidas a la mitad:

Tabla 2: Ejemplos de calculaciones de la huella de carbono de piezas fundidas con diferentes mezclas de metal.

Además de reducir la huella de carbono directamente, el contenido de reciclaje (especialmente, por ejemplo, las pequeñas piezas de material triturado como ecommelt356.2) en un horno puede ayudar a las fundiciones a aumentar la densidad de carga y, por lo tanto, la eficiencia de fusión, al ser material limpio reduciendo también la pérdida de metal y la emisión de humos generados por la fusión en comparación de material no limpio, lo que además (indirectamente) contribuye a reducir la huella de carbono de las piezas fundidas.

Conclusión

Las fundiciones ahora necesitan cada vez más calcular y reducir la huella de carbono de sus piezas fundidas. La contribución de una fundición con fundir el metal, colar la pieza, el tratamiento térmico, el mecanizado, etc. es muy pequeña en comparación con la huella de carbono del metal comprado que se utiliza para fabri-

Tabla 2

	huella de carbono			huella de carbono		
	t CO ₂ e / t Al	%	t CO ₂ e / t Al		t CO ₂ e / t Al	%
Lingotes de aluminio primario (promedio global)	16.65	100%	23.79	Lingotes de aluminio primario (bajo de carbono)	4.54	100%
Rendimiento de proceso		70%		Rendimiento de proceso		70%
Retornos internos	0.00	30%	0.00	Retornos internos	0.00	0%
Fusión del metal	0.28	100%	0.28	Fusión del metal	0.28	100%
Colada, mecanizado, etc. (resto de la fundición)	0.22	100%	0.22	Colada, mecanizado, etc. (resto de la fundición)	0.22	100%
Huella de carbono por pieza fundida en kg CO ₂ e / kg Al			24.29	Huella de carbono por pieza fundida en kg CO ₂ e / kg Al		6.99
	t CO ₂ e / t Al	%	t CO ₂ e / t Al		t CO ₂ e / t Al	%
Lingotes de aluminio primario (promedio global)	16.65	70%	16.65	Lingotes de aluminio primario (bajo de carbono)	4.54	70%
Rendimiento de proceso		70%		Rendimiento de proceso		70%
Retornos internos	0.00	30%	0.00	Retornos internos	0.00	30%
Fusión del metal	0.27	100%	0.27	Fusión del metal	0.27	100%
Colada, mecanizado, etc. (resto de la fundición)	0.22	100%	0.22	Colada, mecanizado, etc. (resto de la fundición)	0.22	100%
Huella de carbono por pieza fundida en kg CO ₂ e / kg Al			17.14	Huella de carbono por pieza fundida en kg CO ₂ e / kg Al		5.03
	t CO ₂ e / t Al	%	t CO ₂ e / t Al		t CO ₂ e / t Al	%
Lingotes de aluminio primario (promedio global)	16.65	50%	11.89	Lingotes de aluminio primario (bajo de carbono)	4.54	50%
ecomelt356.2	0.136	20%	0.04	ecomelt356.2	0.136	20%
Rendimiento de proceso		70%		Rendimiento de proceso		70%
Retornos internos	0.00	30%	0.00	Retornos internos	0.00	30%
Fusión del metal	0.25	100%	0.25	Fusión del metal	0.25	100%
Colada, mecanizado, etc. (resto de la fundición)	0.22	100%	0.22	Colada, mecanizado, etc. (resto de la fundición)	0.22	100%
Huella de carbono por pieza fundida en kg CO ₂ e / kg Al			12.40	Huella de carbono por pieza fundida en kg CO ₂ e / kg Al		3.75

car las piezas fundidas. Los lingotes primarios pueden tener una huella de carbono de hasta 20 t CO₂e/t Al, e incluso los lingotes A356 “primarios bajos en carbono” tienen alrededor de 4 t CO₂e/t Al.

Por lo tanto, el reciclaje es muy importante, ya que reemplaza la cantidad de metal primario con un material con una huella de carbono mucho inferior. Como hemos visto en nuestro ejemplo, solo el reciclaje interno puede reducir la huella de carbono de las piezas fundidas en una cuarta parte. Reemplazar otro 20 % de los lingotes primarios con material reciclado (como en nuestro ejemplo por ecomelt356.2) puede ayudar a reducir la huella de carbono a la mitad (en comparación con la fundición hecha con lingotes 100 % primarios).

Además, aluminio reciclado en pequeños pedazos (como ecomelt356.2) ayuda a aumentar la eficiencia de fusión y a reducir los costos. En la fundición el horno de fusión es lo que cree la mayoría de la huella de carbono de la planta. Seleccionar el horno más adecuado (con mejores tecnologías) y las mejores practicas de fusión y tratamiento y transferencia de metal son extremadamente importantes.

REFERENCIAS:

1. <https://media.ronalgroup.com/en/press-release/global-innovation-ronal-group-presents-first-carbon-neutral-recycled-wheel/> y <https://media.ronalgroup.com/en/press-release/ronal-group-partners-with-ecomelt-to-reduce-carbon-footprint/>
2. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf
3. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporing-Standard-EReader_041613_0.pdf
4. https://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2018/02/15/carbon_footprint_technical_support_document_v1_published.pdf