

El impacto ambiental de las instalaciones de alumbrado

Carlos Sierra – Profesor del Departamento de Proyectos de Ingeniería y de la Construcción de la UPC

1 INTRODUCCIÓN

Toda actividad humana tiene un impacto ambiental sobre el medio ambiente, y para llevar a cabo esa actividad, se precisa luz. Cuando no se dispone de luz natural (o incluso cuando se dispone de ella), se genera luz artificial para seguir desarrollando dichas actividades humanas. Para proveer esa luz es necesario generar y consumir energía eléctrica, a la vez que fabricar, transportar, almacenar dispositivos que sean capaces de proporcionar esa iluminación. Todas esas actividades o procesos provocan impactos medioambientales, suponen consumo de recursos, emiten sustancias al medio ambiente y generan otras modificaciones ambientales durante su periodo vital.

Los impactos medioambientales que se valoran habitualmente incluyen el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la generación de ozono en la troposfera, eutrofización, acidificación y otras muchas.

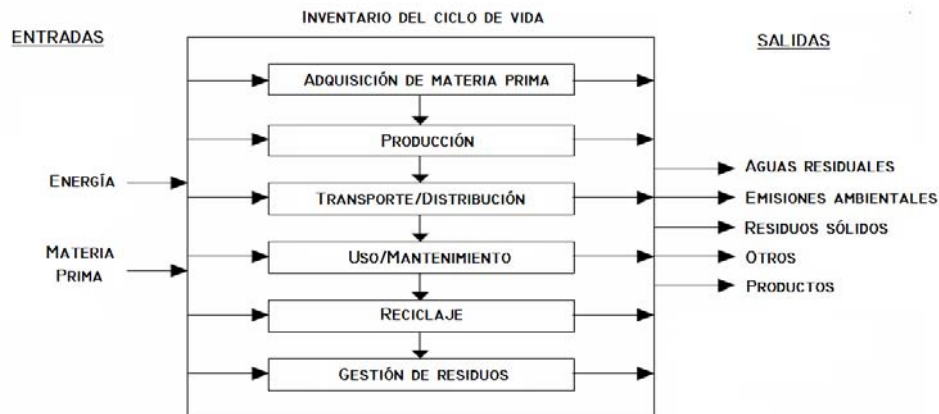
Para tratar de evaluar el impacto ambiental de un producto o un sistema es básico analizar el ciclo de vida del mismo.

Un **análisis de ciclo de vida** (ACV) (Life Cycle Assessment (LCA) en inglés), también conocido como análisis de la cuna a la tumba, balance ambiental, balance ecológico o evaluación del ciclo de vida (ECV), es un marco metodológico para estimar y evaluar los impactos ambientales atribuibles al ciclo de vida de un producto. Es una herramienta de diseño que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia: extracción, producción, distribución, uso y fin de vida (reutilización, reciclaje, valorización y eliminación/disposición de los residuos/desecho).



El ACV es, por tanto, una metodología empleada en el estudio del ciclo de

vida de un producto y de su proceso de producción, con el fin de evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos ("entradas" como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales ("salidas" al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando. Con el auge del ecodiseño, este enfoque ha ido integrando con más frecuencia diferentes criterios y parámetros de evaluación del impacto ambiental.



Los documentos marco para la realización de un análisis de ciclo de vida son las normas internacionales ISO 14040 (principios y marco de referencia para el ACV) e ISO 14044 (requisitos y directrices para el ACV), adoptadas en español por AENOR como UNE-EN ISO 14040 y UNE-EN ISO 14044.

El ACV de un producto típico tiene en cuenta el suministro de las materias primas necesarias para fabricarlo, transporte de materias primas hasta el centro de producción, la fabricación de intermedios y, por último, el propio producto, incluyendo envase, la utilización del producto y los residuos generados por su uso, y su fin de vida (posibilidad de reutilización o reciclaje, etc.).

Dado que un producto no puede ser diseñado, manufacturado, promocionado y utilizado sin involucrar el uso de múltiples materias primas, energía, transporte y disposición, la identificación de los aspectos ambientales clave a lo largo de su ciclo de vida se vuelve un proceso complicado y complejo. Es por ello, que nace la necesidad de contar con una herramienta sistemática que permita realizar una evaluación integral de los aspectos ambientales clave de un producto a lo largo de su ciclo de vida; una de esas herramientas es el Análisis de ciclo de vida (ACV).

El ACV es una metodología que se diferencia por el uso de métodos cuantitativos y por su particularidad de identificar los aspectos ambientales clave de un producto, proceso o servicio y cuantificar sus impactos ambientales potenciales a lo largo de su ciclo de vida, comenzando por la extracción de materias primas y la producción de energía utilizada para fabricar el producto, uso del mismo y disposición final.

2 EL CASO DE LA ILUMINACIÓN

El siguiente paso consistiría en aplicar la metodología ACV a una instalación de iluminación. Para llevarlo a cabo, debería realizarse el ACV de todos los elementos que la componen, el proceso es complicado puesto que debe obtenerse información de todos los procesos por los que pasan cada uno de los componentes.

Para hacerlo un poco más sencillo, vamos a reducir esa instalación a una instalación de alumbrado exterior, como podría ser una calle cualquiera de nuestras ciudades.

Realizando un análisis de diferentes componentes, básicamente aparecerían los siguientes:

- Cuadro de mando
- Líneas eléctricas
- Soportes
- Cajas de conexión
- Luminarias
- Obra civil

Cada uno de estos sistemas que conforman la instalación debería descomponerse en componentes individuales, y a su vez, éstos descomponerlos en elementos básicos.

3 ACV DE UNA LUMINARIA

Pongamos por ejemplo el caso de una luminaria LED. Una luminaria de alumbrado urbano podría considerarse que está compuesta por los siguientes elementos:

- Carcasa
- Difusor
- Juntas
- Cableado
- Placa LED
 - PCB
 - Leds
 - Ópticas
- Tornillería

En este artículo no se considera el driver, aunque el proceso descriptivo sería análogo al de la luminaria.

El ciclo de vida de la luminaria empieza por su proceso de fabricación: Deben primero obtenerse todas las materias primas, transformarse, almacenarse y transportarse hasta los diferentes centros de producción, para volver a ser tratados en diferentes etapas hasta llegar a ser una luminaria lista para ser instalada.

Una vez instalada, comienza su fase de uso, durante la cual producirá luz a base de consumir en energía eléctrica durante un periodo de unos 15 años, para al final convertirse en un residuo en la que parte del aparato será reciclado.

Analicemos a continuación las diferentes fases del ciclo de vida de una luminaria.

3.1 FABRICACIÓN

Como se ha comentado, la fabricación de una luminaria se divide en la fabricación y embalaje de todos sus componentes, desde la obtención de la materia prima hasta la fabricación de la pieza final.

3.1.1 La carcasa

Generalmente, la carcasa de una luminaria está realizada en fundición de aluminio inyectado. Así pues, el primer paso del ciclo de vida de la carcasa de la luminaria es la obtención del Aluminio.

El aluminio es un metal no ferroso, ligero, con bajo punto de fusión, blando y deformable, con alta conductividad eléctrica y térmica, de amplia utilización en la industria, producido por el hombre con minerales extraídos de la naturaleza.

3.1.1.1 Obtención del aluminio

El aluminio forma parte de la corteza terrestre en una proporción aproximada al 8%, lo que lo convierte en el elemento químico más abundante después del oxígeno (47%) y el silicio (28%). No se presenta puro en la naturaleza, sino que aparece combinado fundamentalmente con el oxígeno, formando óxidos e hidróxidos, que a su vez se hallan mezclados con óxidos de otros metales y con sílice. El mineral del que se extrae el aluminio casi exclusivamente se llama **bauxita**.



Roca de bauxita

La producción de aluminio en China alcanzó los 36 millones de toneladas métricas en el año 2019. Esta cifra sitúa al país como el primer productor mundial, a gran distancia de la India, que ocupaba el segundo puesto del ranking con un total de 3,7 millones de toneladas. De hecho, la producción global del metal se aproximó a los 64 millones de toneladas, dato que resalta la importancia de China en la industria del aluminio. Y es que, el país asiático es responsable de más de la mitad de la producción en el mundo.

1. Obtención del aluminio primario

Este proceso se realiza en dos fases:

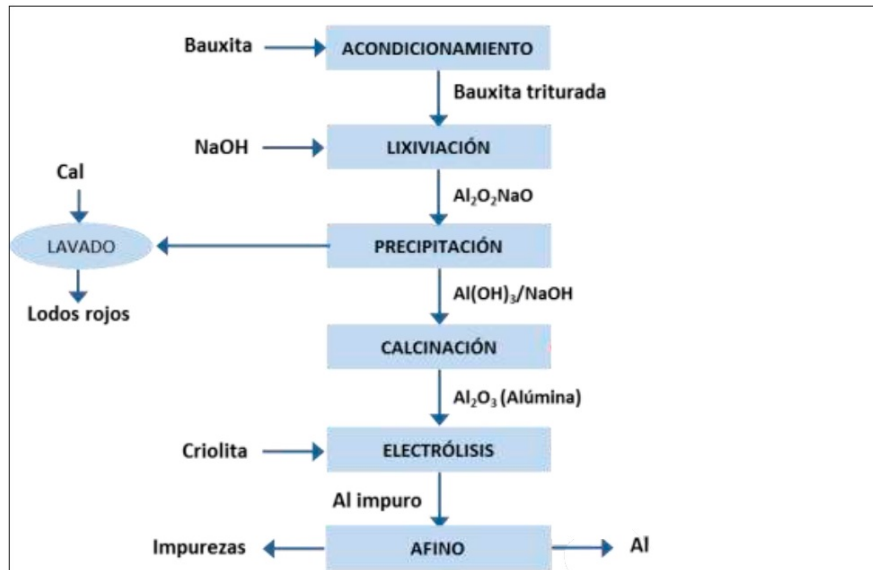
- a) **La extracción de la alúmina (Al_2O_3) a partir de la bauxita** (proceso Bayer): La primera fase de la obtención del aluminio consiste en aislar la alúmina (óxido de aluminio) de los minerales que la acompañan. Para ello el primer paso es triturar la bauxita hasta obtener un polvo fino, que es mezclado con sosa cáustica líquida y calentado a alta presión. La sosa disuelve los compuestos del aluminio que, al encontrarse en un medio fuertemente básico, se hidratan.

Los materiales no aluminicos se separan por decantación. La solución cáustica del aluminio se enfría luego para recristalizar el hidróxido y separarlo de la sosa, que se recupera para su ulterior uso. Finalmente, se calcina el hidróxido de aluminio a temperaturas cercanas a $1000\text{ }^\circ\text{C}$, para formar la alúmina.

- b) **La extracción del aluminio a partir de la alúmina mediante electrólisis:** El óxido de aluminio obtenido en la fase anterior tiene un punto de fusión muy alto ($2000\text{ }^\circ\text{C}$) que hace imposible someterlo a un proceso de electrólisis. Por ello se mezcla la alúmina con fluoruro de sodio (criolita), que actúa de fundente, con lo cual la temperatura de fusión de esta mezcla se rebaja hasta $900\text{ }^\circ\text{C}$. A continuación, se somete al proceso de electrólisis, sumergiendo en la cuba unos electrodos de carbono (tanto el ánodo como el cátodo). Al pasar la corriente eléctrica continua a través de esta mezcla descompone la alúmina en oxígeno y en aluminio; el metal fundido se deposita en el polo negativo (cátodo) del fondo de la cuba, mientras que el oxígeno se acumula en los electrodos de carbono (ánodo). Parte del carbono que está en el baño se quema por la acción del oxígeno, transformándose en dióxido de carbono. El aluminio así obtenido tiene una pureza del $99,5\%$ al $99,9\%$, siendo las impurezas de hierro y silicio principalmente.

De las cubas pasa al horno, donde es purificado mediante la adición de un fundente o se alea con otros metales, con objeto de obtener materiales con propiedades específicas. Después se vierte en moldes o se hacen lingotes o chapas.

Para producir una tonelada de aluminio se necesitan cuatro toneladas de bauxita, que darán dos toneladas de alúmina, de las cuales, mediante electrólisis, se obtendrá una tonelada de aluminio.



Proceso de obtención de Aluminio

2. Obtención aluminio secundario

La producción de aluminio secundario o reciclaje de aluminio es el conjunto de procesos que permiten utilizar de nuevo el aluminio al final de su vida útil.

El proceso se basa en refundir el metal, lo que reduce enormemente los costes de producción, ya que requiere cantidades de energía mucho menores que las empleadas en la ruta primaria. Se estima que el consumo energético

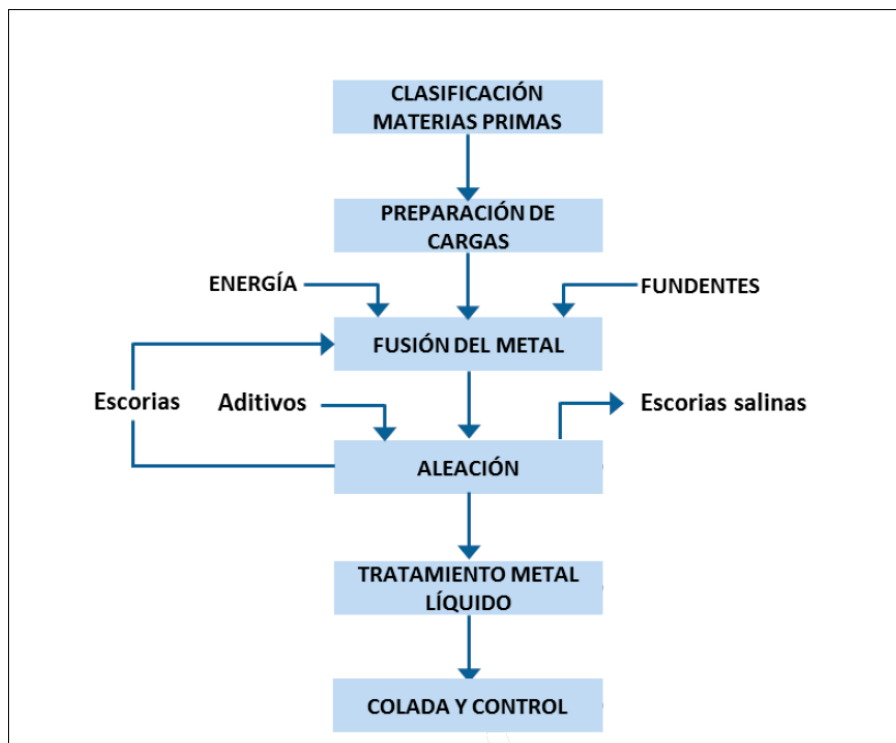
en las operaciones de refinado del aluminio secundario es, aproximadamente, el 5% de la requerida para la producción primaria de aluminio, reduciéndose significativamente las emisiones de dióxido de carbono.

En la mayoría de los casos el primer paso consiste en la eliminación del magnesio que pudiera haber en la chatarra que entra como materia prima, con el fin de evitar la degradación del producto obtenido en las operaciones de moldeo. Se estima que la chatarra puede contener hasta un 1% de magnesio, por lo que se necesita reducirlo hasta el 0,1%.

Tras el pretratamiento realizado a la chatarra se procede a la fusión. Destacan dos procesos diferenciados claramente según el tipo de horno empleado (rotativos y otros). La diferencia entre ambos radica en el empleo o no de sales fundentes para la fusión de las chatarras. Mediante el empleo de sales se obtiene un mayor grado de recuperación del aluminio, ya que estas disminuyen el grado de oxidación del metal durante la fusión (las sales forman una capa fundida sobre el aluminio y ayudan a prevenir la oxidación), con el consecuente aumento de la producción de escorias salinas.

Aeronaves, automóviles, componentes de iluminación, bicicletas, botes, material de menaje, cables, etc., son típicamente reciclados.

Habitualmente disponen de pinturas, lacados, recubrimientos, grasas, etc., que es necesario limpiar antes de introducir en el horno de refusión para evitar problemas.



Proceso de obtención de aluminio secundario

No debemos olvidar que a todos estos procesos de producción van asociados transportes de la mercancía, que obviamente tendrán su impacto sobre el medio ambiente.

3.1.1.2 Fabricación de la carcasa de la luminaria

Una vez obtenido el aluminio, es llevado en lingotes a los centros de producción, donde se inyecta y se obtiene la carcasa de la luminaria. La fundición a presión es un método de fabricación ampliamente utilizado para producir piezas de aluminio mediante la inyección a alta presión del metal fundido en moldes de acero reutilizables. Este proceso da como resultado la producción de piezas y componentes con geometrías complejas, con alta precisión, y permite la posibilidad de una producción a gran escala.

La fundición inyectada en cámara fría es ideal para metales como el aluminio, que tienen un punto de fusión alto. Durante el proceso, el metal se funde en un horno a temperaturas extremadamente altas y luego se dosifica en una cámara fría para ser inyectado en un molde de acero a gran velocidad. La acción de la presión, bajo la que el metal fluido se introduce hasta en las secciones estrechas y se comprime contra las paredes del molde, determina una reproducción con un exacto contorneado, lo que constituye una de las especiales ventajas del proceso de colada a presión.

Puesto que incluso después de llenarse el molde mantiene una presión

convenientemente elevada sobre la masa que se está enfriando y endureciendo, se produce un cierto compactado posterior. Gracias a esto, el sistema de fundición a presión permite la producción de piezas de paredes delgadas y forma complicada con una elevada calidad superficial y gran exactitud, piezas que apenas precisan de trabajos de acabado.



Pieza de una luminaria de aluminio inyectado

Una vez finalizada la pieza, se la puede someter a algún tratamiento superficial o a un proceso de pintado, de forma que resista mejor las agresiones ambientales.

Generalmente, la carcasa de una luminaria suele estar formada por varias piezas que se unen entre sí.

3.1.2 El vidrio difusor

El difusor que incorporan las luminarias, generalmente está realizado con vidrio templado, con un grosor de entre 3 y 6 mm.



Vidrio templado de una luminaria

El principal vitrificante del vidrio, y el encargado de que se forme la red vítrea es la sílice (SiO_2). Este material procede principalmente de la arena silíceo y tiene una temperatura de fundición que asciende a los 1800°C . No obstante, se ha conseguido bajar este punto de fusión utilizando fundentes.

En cuanto a los óxidos componentes del vidrio, destacan la caliza (CaCO_3) y la dolomía ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Mientras que la caliza hace que la fusión de los componentes sea más sencilla y aumente la fluidez del vidrio, la dolomía da resistencia al vidrio frente a los cambios de temperatura y mejora sus propiedades mecánicas.

El principal fundente del vidrio es el Na_2SO_4 , y su labor es homogenizar la masa del vidrio fundido mediante la cesión de gases que al desprenderse remueven la mezcla de vidrio.

Para dar color al vidrio, se utilizan compuestos metálicos en muy pequeñas proporciones. Algunos de ellos son la pirita, para añadir color topacio, el óxido de cromo (III) que da color verde, y el óxido de cobalto, que aporta el tono azul tan característico.

El vidrio flotado se fabrica a partir de una mezcla compleja de compuestos vitrificantes y estabilizantes. En la práctica, los productores de vidrio utilizan también una cierta cantidad de vidrio reciclado que se añade a las materias primas.

Estas materias primas se cargan en el horno, el cual se calienta con quemadores de gas o petróleo. La mezcla se funde (zona de fusión) a unos 1.500°C y avanza hacia la zona de enfriamiento, donde tiene lugar el recocido.

El vidrio fundido cae por un canal en una piscina que contiene estaño fundido, controlando la cantidad por medio de una compuerta de material refractario. Para evitar la oxidación del estaño, la cámara contiene una atmósfera protectora compuesta de hidrógeno y nitrógeno.

Mientras el vidrio fluye por la piscina de estaño, la temperatura se reduce de manera que la plancha vaya enfriándose y endureciéndose.

Para fabricar vidrio templado térmicamente, el vidrio flotado se calienta gradualmente hasta una temperatura de reblandecimiento de entre 575 y 635°C para después enfriarlo muy rápidamente con aire. De esta manera se consigue que el vidrio quede expuesto en su superficie a tensiones de compresión y en el interior tensiones de tracción, confiriéndole mayor resistencia estructural y al impacto que el vidrio sin tratar, teniendo la ventaja adicional de que en caso de rotura se fragmenta en pequeños trozos menos lesivos (por lo cual se le considera uno de los tipos de vidrio de seguridad).

Todas las manufacturas, ya sean cortes de dimensiones, canteados o taladros deberán ser realizados previamente al templado. De realizarse posteriormente, se provocaría la rotura del vidrio.

El vidrio cuando es templado, aparte de lo comentado anteriormente,

adquiere otras propiedades importantes. La resistencia a la flexión del vidrio recocido al templarlo aumenta de 4 a 5 veces la resistencia de un vidrio normal. La resistencia al choque térmico (diferencia de temperatura entre una cara y otra de un paño que produce la rotura de éste) pasa de 60 °C a 240 °C.

3.1.3 Juntas de estanqueidad

Las juntas de estanqueidad tienen por objetivo garantizar la protección contra la entrada de cuerpos sólidos y líquidos en el interior de la luminaria.

Generalmente son juntas de silicona. La silicona es un polímero inorgánico sintéticos con base estructural de silicio, está constituido por una serie de átomos de silicio y oxígeno alternados. La silicona es inerte y estable a altas temperaturas, lo que la hace útil en gran variedad de aplicaciones industriales, médicas y quirúrgicas. La característica esencial de los polímeros es la de presentar en su molécula, además del enlace silicio-carbono, el enlace silicio-oxígeno, el cual da origen a su nombre: siliconas.

3.1.4 Cables Eléctricos

Los cables eléctricos están formados por dos partes diferenciadas: Por un lado, el conductor, que es de Cobre o Aluminio, y por otro, la capa aislante, formada por un material plástico.

3.1.4.1 Obtención del cobre

El cobre se obtiene de los minerales Calcopirita (CuFeS_2) y Bornita (Cu_2FeS_4), ambos se explotan en minas a cielo abierto debido a su proximidad a la superficie. El gran contenido de impurezas y la baja concentración del metal, entre el 1% al 12%, hace que la mayoría de las fases del tratamiento del mineral se basen en la eliminación de estas impurezas; principalmente sulfuros, carbonatos, hierro y silicatos. Chile es el principal productor de cobre, con un 17% de la producción.



Alrededor del 90% del cobre que se produce en el mundo proviene de los

minerales de sulfuro. La extracción tiene cuatro etapas:

- Concentración por flotación
- Tostación
- Fusión de mata
- Afino

1. Concentración por flotación

Las concentraciones de cobre en las menas actuales son demasiado bajas por lo que la fundición directa sería muy costosa. Ésta implicaría que se fundiesen enormes cantidades de material sin valor que conllevarían un gran gasto energético y una gran capacidad de horno. Por estas razones, hoy en día se recurre al aislamiento de los minerales de cobre en forma de un concentrado. El método más efectivo de concentración es la concentración por flotación, que requiere un proceso previo de trituración y molienda. El mineral crudo procedente de la mina se tritura y muele para introducirlo en una cámara de flotación o lixiviado, en la cual el cobre se sitúa en la superficie y precipitando los sobrantes. Este concentrado de cobre flotante se introduce en un horno para separar así las impurezas.

2. Tostación

La tostación se lleva a cabo entre 500 y 700°C, dentro de los tostadores tipo hogar o de lecho fluidificados, bajo condiciones bien controladas. El producto de la tostación es una mezcla de sulfuros, sulfatos y óxidos, cuya composición puede variarse mediante el control de la temperatura del proceso de tostación y la relación aire–concentrado. De forma secundaria se obtiene ácido sulfúrico a partir de los sulfuros al oxidarlos e hidratarlos. Este subproducto se suele utilizar en otro tipo de industria, la de los abonos fosfatados.

3. Fusión de mata

El objetivo de la fundición de mata es formar dos fases líquidas inmiscibles: una fase líquida de sulfuro (mata) que contiene todo el cobre de la carga y una fase líquida de escoria sin cobre. La mata tiene un contenido en cobre de entre un 35 a un 65%. La escoria fundida se desecha directamente o después de una etapa de recuperación de cobre. La gran desventaja de este método es la contaminación de la atmósfera con el gas SO₂.

La fusión de mata se lleva a cabo al fundir la carga total del horno a una temperatura aproximada de 1200°C, normalmente con fundentes de sílice y carbonato de calcio. Hoy en día la fundición se realiza de forma mayoritaria en hornos de reverbero, aunque todavía se utilizan altos hornos y hornos eléctricos.

La mata fundida resultante del proceso de fundición contiene cobre, hierro y azufre como componentes principales y hasta un 3% de oxígeno

disuelto. Además, contiene cantidades menores de metales como As, Sb, Bi, Pb, Ni y metales preciosos.

Para eliminar el hierro, el azufre y otras impurezas, se pasa la mata por un convertidor cilíndrico Pierce-Smith, revestido con refractario básico. En este convertidor se produce la oxidación de la mata con oxígeno a una temperatura de 1200°C. Al final del proceso se obtiene un cobre metálico líquido no refinado con una pureza de entre un 98.5 a un 99.5%, denominado cobre blíster. Además de éste, también se produce la escoria y grandes volúmenes de gases calientes que contienen entre un 5 a un 15% de SO₂.

4. Afino

Finalmente, el cobre blíster se refina electroquímicamente para obtener cobre catódico de una gran pureza, superior al 99.99%.

Previamente a la refinación electroquímica es necesario llevar a cabo una refinación térmica, para evitar así la formación de ampollas de SO₂.

La refinación térmica se lleva a cabo en hornos de refinación tipo giratorio que se asemejan a los convertidores Pierce-Smith. La temperatura de operación está entre los 1130°C y los 1150°C.

Esta alta purificación (cerca del 100%) es indispensable para la fabricación de cableado.

3.1.4.2 Fabricación del cable

En la fabricación de los cables eléctricos se siguen de forma general los siguientes procesos:

1. **Fundición:** Se vuelve a fundir el material en bruto en una cámara en la que se inyecta oxígeno a alta presión para elevar la temperatura. La mayor parte de impurezas arden aquí hasta desaparecer.
2. **Elaboración de láminas:** El cobre fundido se canaliza hacia una máquina donde se llenan unos moldes en forma de plancha.
3. **Enfriado y limpieza:** Las láminas se enfrían con agua y se llevan a un tanque donde serán sometidas a un baño electrolítico para eliminar impurezas. El resultado son unas piezas de metal de aspecto mucho más brillante y lustroso.
4. **Fundición:** Las planchas de cobre limpio se reenvían a otra parte del taller para volverlas a fundir, esta vez sin impurezas.
5. **Estirado:** Para crear el cable de cobre, el metal se deja enfriar parcialmente y se le va dando una forma alargada, mediante estiramiento mecánico, hasta que tenga el diámetro deseado.

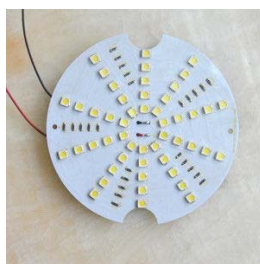
6. **Trefilado:** consiste en reducir el tamaño del alambre de cobre, hasta obtener el diámetro final deseado.
7. **Cableado:** los hilos de alambre se montan en una máquina trenzadora, que se encarga de agrupar los alambres.
8. **Aislamiento:** se le aplica una capa de un material de aislamiento.
9. **Cableado de fases:** es el agrupamiento de cables, para construir un cable multiconductor.
10. **Pantalla:** se utiliza para evitar que la corriente eléctrica que pasa por el cable provoque ruidos e interferencias en el exterior.
11. **Armadura:** sirve como protección mecánica para el cable conductor, ya sea golpes, tracción y roedores.
12. **Cubierta exterior:** llevan una cubierta polimérica, para proteger el aislante y conductor ante la humedad y daños mecánicos.
13. **Marcaje del cable:** se marca en el la cubierta o aislante, datos como: fabricante, denominación comercial, número de conductores, voltaje, calibre, entre otras características.

3.1.5 Placa Led

La placa led está compuesta por tres elementos: El PCB, los propios leds y las ópticas asociadas a éstos.

3.1.5.1 La PCB (Printed Circuit Board)

La PCB o tarjeta de circuito impreso es un tipo de PCB que se compone de una delgada capa dieléctrica térmicamente conductora, así como una capa protegida eléctricamente y una capa de revestimiento de cobre que se superpone entre la base de metal y la lámina de cobre. La lámina de cobre adopta el diseño de circuito ideal, mientras que la base de metal permite que el calor se difunda con la ayuda de la colocación dieléctrica entre las capas.



El proceso de fabricación se inicia con **la laminación del material**, consistente en adherir la capa de cobre mediante la aplicación de temperatura

y presión (del orden de 200°C y 25 atmósferas).

A continuación, **se realizan las perforaciones** (tanto de agujeros, vías, etc.) en la placa. Estas perforaciones pueden realizarse bien mediante una fresa CNC o mediante corte por láser.

Una vez perforada la placa se realiza un proceso de **deposición sin electricidad**.

Por otro lado, mediante impresoras de alta precisión **se generan unas láminas transparentes**, o films, que contienen el diseño del circuito que queremos fabricar.

Posteriormente a ésta **se le aplica una capa fotosensible**. Sobre esta, se coloca el film transparente anterior.

A continuación, **se transfiere el diseño a la placa por isolación**. Para ello se expone a una potente luz ultravioleta, que endurece la capa fotosensible únicamente en las zonas donde el film es transparente.

Seguidamente la placa **se sumerge en una serie de baños químicos** que eliminan los restos de la capa fotosensible y el cobre de las zonas que queremos eliminar, dejando únicamente las zonas correspondientes con los circuitos.

A continuación, **se aplica la laca de protección** o Soldermask.

Seguidamente **la placa pasa por una nueva serie de baños**, tras los cuales las partes expuestas de cobre finalizan cubiertas por una fina capa de estaño que facilitará el soldado posterior de componentes y, además, protege el cobre.

La placa pasa a continuación a una impresora de tinta, donde **se imprime la silkscreen** con los textos, anotaciones.

Por último, las placas **se recortan con su forma definitiva** en una máquina CNC. Normalmente las PCB se fabrican en placas más grandes, que contienen varios diseños. Este proceso también divide la placa global en las distintas PCB individuales.

3.1.5.2 LED

Un led es un diodo emisor de luz. Como diodo, está formado por dos capas de materiales, unidas entre sí, que son una base de cristal de silicio, con la adición en pequeñas cantidades de elementos raros, tales como el Aluminio (Al), Galio (Ga), Indio (In), Arsénico (As), Fósforo (P), Nitrógeno (N).



El fabricante de chips LED produce chips semiconductores que vienen en obleas. Esta oblea está formada por varias capas en las que se mezclan los elementos que determinarán las especificaciones lumínicas del led. Esto se hace con una presión y temperatura controlada. Empleando principalmente robótica, aplica los circuitos (cableado) adecuados y corta la oblea en chips. Estos chips se prueban para determinar las propiedades de color y luz (de forma robótica) y en este punto se clasifican y separan físicamente en contenedores. Luego, los chips se montan en una placa de circuito (encapsulado). También se agrega película fluorescente. Después de una preparación adicional, se cortan en placas de circuito individuales.

Una vez obtenido el chip led, este se monta soldado a la placa PCB.



3.1.5.3 Óptica LED

La óptica led es la responsable de modificar la distribución de flujo luminoso en función de las necesidades del espacio a iluminar. Pueden ser lentes o bien reflectores, en función de la aplicación. En lentes, el material más común es el PMMA (Polimetilmetacrilato), un material acrílico que se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo y la presentación más frecuente que se encuentra en la industria del plástico es en gránulos o en placas. Los gránulos son para el proceso de inyección o extrusión y las placas para termoformado o para mecanizado.



3.1.6 Tornillería

La tornillería con la que se fijan los diferentes elementos de la luminaria suele ser de acero inoxidable. Los aceros inoxidables están hechos de algunos de los elementos básicos que se encuentran en la tierra: mineral de hierro, cromo, silicio, níquel, carbono, nitrógeno y manganeso. Las propiedades de la aleación final se adaptan variando las cantidades de estos elementos.

3.1.6.1 Obtención del acero inoxidable

La fabricación del acero inoxidable implica una serie de procesos:

1. Fundición

Primero, se funden las materias primas en un horno eléctrico y se someten aproximadamente a 12 horas de calor intenso.

La mezcla es moldeada en desbastes rectangulares, planchas o palanquillas parecidas a barras antes de tomar una forma semisólida.

Esta forma inicial de acero es procesada a través de la operación de formado que incluye la laminación en caliente en barras, cables, láminas y planchas de acero.

2. Recocido y tratamientos térmicos

Luego, el metal es recocido a través de un tratamiento térmico donde primero se calienta el metal y luego se enfría en condiciones extremas controladas con el fin de aliviar las tensiones internas y ablandar el metal. Este proceso también es conocido como endurecimiento por precipitación y se suele usar para brindar mayor resistencia.

El tratamiento térmico utilizado en el acero inoxidable depende del tipo y del grado de acero que se produzca.

3. Desincrustación

El recocido o tratamiento térmico puede desarrollar un precipitado, conocido como incrustación. Estas incrustaciones pueden ser eliminadas a través de diferentes métodos, como el decapado (baño con ácido nítrico-fluorhídrico), electrolimpieza (aplicación de corriente eléctrica usando ácido fosfórico y un cátodo), entre otros.

4. Corte

Las operaciones de corte en el proceso de fabricación son esenciales para obtener la forma y el tamaño deseado del producto final.

5. Acabado y refinamiento

El acabado de la superficie, el paso final en la fabricación de acero inoxidable, es crítico para obtener la superficie suave y reflectiva por cual el metal es popular.

Este último paso proporciona al producto la resistencia deseada a la corrosión y deja el metal listo para otros pasos específicos de fabricación industrial según se requiera.

3.1.6.2 Fabricación de la tornillería

Se suelen emplear dos métodos:

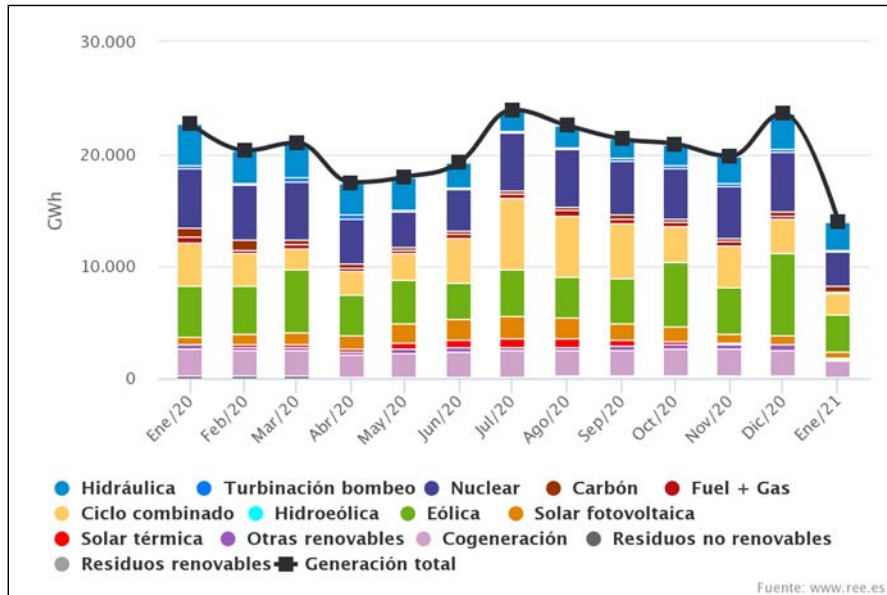
1. **Forjado en frío.** Es el proceso para producir pernos y tornillos con cabeza, consiste en comprimir el material en la cavidad de un molde, normalmente a temperatura ambiente; la pieza que se obtiene es un clavo, perno o tornillo con cabeza, a este proceso también se le conoce como estampado en frío.
2. **Mecanizado.** Se trata de un proceso donde el trabajo de tamaño y forma se realiza a través de la eliminación gradual de material, con la ayuda de herramientas. El tornillo sin mecanizar se coloca en un troquel y, a medida que las herramientas giran sobre el tornillo, se crean las ranuras de roscado y la forma del tornillo.

Hasta aquí sería el proceso de fabricación de los diferentes componentes que forman una luminaria. A partir de aquí se llevaría a cabo el proceso de montaje de la misma y su correspondiente embalaje y protección.

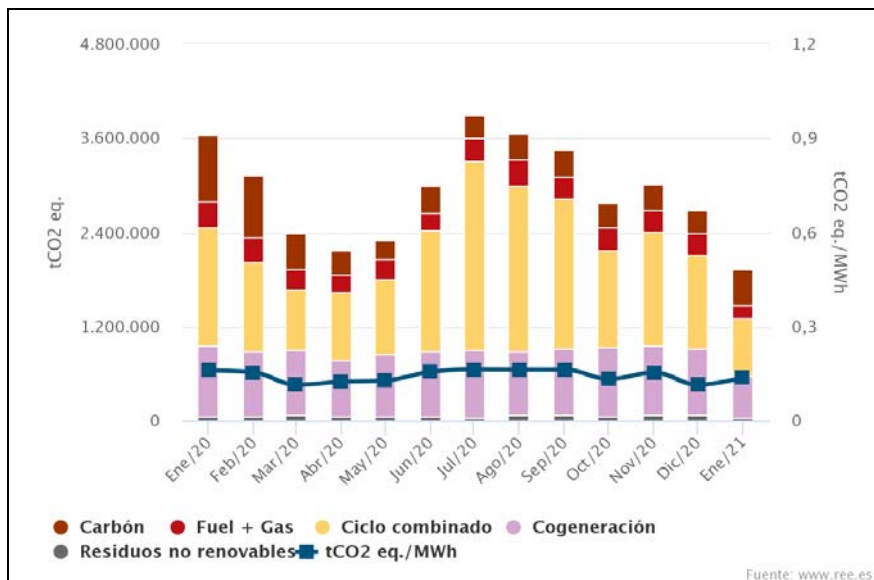
No debemos olvidar que a lo largo de todo este proceso de producción se llevan a cabo también transportes y almacenamientos que inciden sobre el impacto ambiental de la misma.

3.2 VIDA ÚTIL

Una vez la luminaria ha sido instalada, comienza a dar el servicio para el cual ha sido diseñada y fabricada, transformar energía eléctrica en luz. La generación de electricidad en España (2020) y las emisiones en CO₂ equivalente vienen descritas en los siguientes gráficos (Fuente: Red Eléctrica Española):



ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN POR TECNOLOGÍAS (GWh) | SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

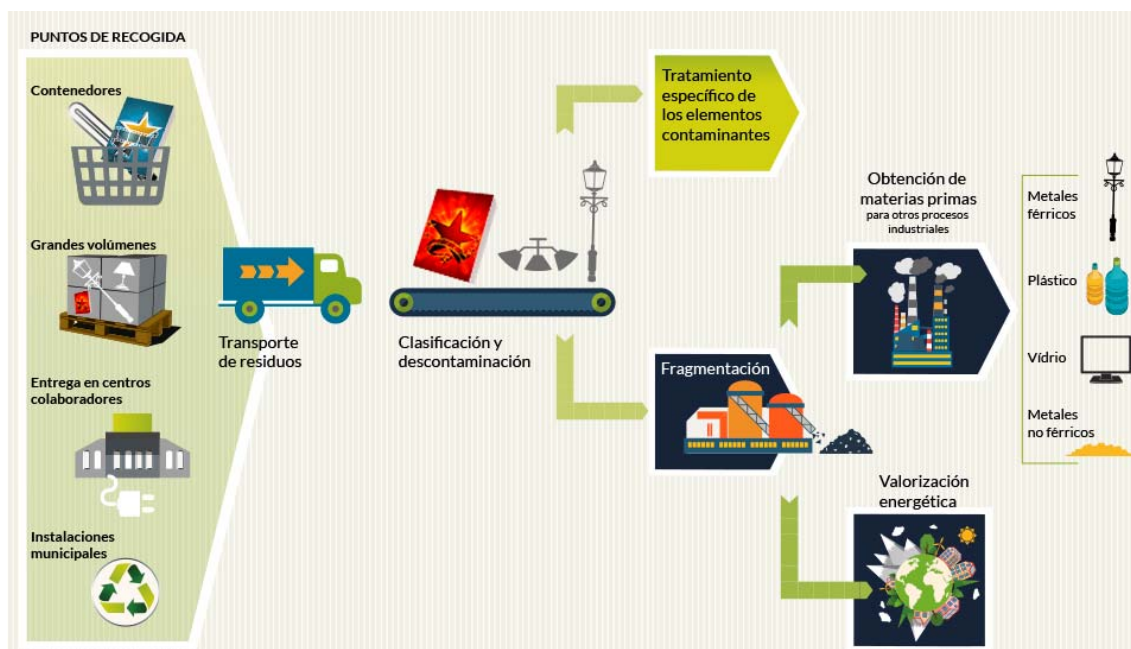


EMISIONES Y FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ EQ. DE LA GENERACIÓN (tCO₂ eq. | tCO₂ eq./MWh) | SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

De aquí se puede deducir cual es el consumo total de una luminaria a lo largo de toda su vida y cuál es el impacto ambiental asociado.

3.3 RETIRO Y REUTILIZACIÓN

Cuando se ha llegado al final de la vida útil del aparato, este debe ser eliminado o reutilizado. El proceso que se sigue es el siguiente (Fuente: ECOLUM)



A lo largo de toda esta fase se llevan a cabo almacenaje, transporte y procesamiento de los diferentes componentes de la luminaria, algunos de los cuales serán reaprovechados (economía circular) y otros serán tratados o procesados de forma que el impacto ambiental sea mínimo.

4 ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL

Como se ha podido observar, a lo largo de toda la vida útil de una luminaria se produce un impacto ambiental, ya sea por procesos de fabricación, transporte, consumo o bien como residuo. Comienza desde el mismo momento en que se extraen las materias primas para fabricar una luminaria. Desde ese mismo momento se producen emisiones ambientales, residuos, tanto sólidos como líquidos que van a parar al medio ambiente.

Hoy por hoy, cuando se habla de impacto ambiental de una luminaria, se suele asociar únicamente a la fase de vida útil, relacionada casi exclusivamente con el consumo energético y el ahorro que proporciona cuando se emplea la tecnología led.

En este artículo se ha tratado de describir alguno (y bastante por encima) de los procesos por los que pasa una luminaria, para tratar de mentalizar sobre los aspectos ambientales a la hora de valorar una luminaria.

No obstante, para valorar de una forma efectiva el impacto ambiental de una luminaria, deberíamos considerar todo, absolutamente todo el ciclo de vida de la misma, calculando lo más objetiva y exhaustivamente posible cual es el

impacto ambiental a lo largo de todas las etapas por las que pasa, considerando todos y cada uno de los componentes que la forman, así como los procesos de transformación, transportes y usos a los que se destina.

Hagamos esto con todos los componentes de la instalación, y si se tienen en cuenta todos esos impactos, podrá calcularse cuál es la huella ambiental que dejamos con la iluminación.

Con el uso de la herramienta del Análisis del ciclo de vida, pueden definirse y simularse escenarios con los que minimizar el impacto ambiental de nuestros productos. Hagamos uso de ellos y las generaciones futuras nos lo agradecerán.