



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS**



Anejo Nº1 – Clasificación de los helipuertos y bases teóricas del aluminio.

Diseño y análisis estructural de helipuerto de aluminio sobre la cubierta de un buque de apoyo marítimo en alta mar.

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Trabajo Final de Máster

ANEJO Nº1

CLASIFICACIÓN DE LOS HELIPUERTOS Y

BASES TEÓRICAS DEL ALUMINIO

ÍNDICE

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | OBJETO DEL DOCUMENTO..... | 4 |
| 2. | DEFINICIÓN DE HELIPUERTO..... | 4 |
| 3. | CLASIFICACIÓN SEGÚN SU UBICACIÓN | 4 |
| 3.1. | HELIPUERTOS DE SUPERFICIE..... | 4 |
| 3.2. | HELIPUERTOS ELEVADOS | 5 |
| 3.3. | HELIPLATAFORMAS..... | 5 |
| 3.4. | HELIPUERTO A BORDO DE UN BUQUE..... | 5 |
| 4. | ALUMINIO. BASES TEÓRICAS | 6 |
| 4.1. | UN POCO DE HISTORIA | 6 |
| 4.2. | PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ALUMINIO | 8 |
| 4.3. | TRATAMIENTOS | 8 |
| 4.3.1. | Tratamientos térmicos | 8 |
| 4.3.2. | Tratamientos superficiales | 9 |
| 4.4. | ALEACIONES DEL ALUMINIO | 9 |
| 4.5. | PROPIEDADES DEL ALUMINIO | 11 |
| 4.6. | CORROSIÓN | 11 |
| 4.6.1. | Tipos de corrosión | 11 |
| 4.6.2. | Aluminio al aire libre | 12 |
| 4.6.3. | Aluminio en tierra..... | 13 |
| 4.6.4. | Aluminio en agua | 13 |
| 4.7. | TIPOS DE UNIONES..... | 13 |
| 4.7.1. | Uniones mediante soldadura por fusión..... | 13 |
| 4.8. | CONCLUSIÓN..... | 13 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Helipuerto con distintas superficies de aterrizaje y hangares. Fuente: Google images. | 4 |
| Figura 2 - Helipuerto de superficie sobre el agua en Brookling. Fuente: Google Earth..... | 4 |
| Figura 3 - Helipuerto de superficie en tierra. Fuente: Google images. | 4 |
| Figura 4 - Helipuertos elevados sobre edificios. Fuente: Google images. | 5 |
| Figura 5 - Heliplataforma offshore. Fuente: Google images. | 5 |
| Figura 6 - Helipuerto exprofeso sobre un buque. Fuente: Google images. | 5 |
| Figura 7 - Helipuerto no construido exprofeso. Fuente: CAP 437. | 6 |
| Figura 8 - Estatua de Eros de aluminio en Picadilly Circus, Londres. Fuente: Google Images. | 6 |
| Figura 9 - Revestimiento exterior de la cúpula de la iglesia de San Gicchiano. Fuente: Dreamstime. | 7 |
| Figura 10 - Casco del dirigible USS Akron. Fuente: Flickr. | 7 |
| Figura 11 - Wichita House, Kansas de R. Buckminster. Fuente: Tumblr. | 7 |
| Figura 12 - Pabellón centenario del aluminio de 1954, París. Fuente: Proyectos4etsa..... | 7 |
| Figura 13 - Revestimiento a base de discos de aluminio de los almacenes Selfridges. Fuente: Google Images. ... | 8 |
| Figura 14 - Esquema proceso de obtención del aluminio. Fuente: Google Images. | 8 |
| Figura 15 - Código de aleación en función del elemento de aleación. Fuente: SAPA..... | 9 |
| Figura 16 - Esquema de corrosión galvánica entre acero y aluminio. Fuente: SAPA..... | 12 |
| Figura 17 - Aislamiento eléctrico en una unión atornillada. Fuente: SAPA. | 12 |
| Figura 18 - Tornillo afectado por corrosión por picaduras frente a tratado previamente. Fuente: SAPA. | 12 |

1. Objeto del documento

El objeto del presente anejo es mostrar una clasificación detallada de la tipología de helipuertos existente en función de su ubicación y los materiales con los que se suelen construir. Una vez establecida esta clasificación, se profundizará en el aluminio como material de la construcción, mostrando sus características y propiedades principales, su proceso de obtención y fabricación, los diferentes tipos de aluminio y sus aplicaciones, así como, diferentes métodos de unión y tratamientos para un correcto funcionamiento. Se pretende profundizar en este material, dado que será el material con que se realizará el helipuerto.

2. Definición de helipuerto

Se define como helipuerto un aeródromo destinado exclusivamente a los helicópteros, en el que suelen encontrarse los servicios necesarios para el aterrizaje, despegue, suministro de combustible, mantenimiento y sistemas para la contención y extinción de incendios. Los helipuertos pueden tener una o más superficies de aterrizaje, llamadas, helisuperficie. Estas zonas de aterrizaje no solo se encuentran en los helipuertos y aeropuertos, sino que pueden instalarse en cualquier localización donde sea necesario el despegue y aterrizaje de helicópteros. En este caso aparecen diferentes clasificaciones de helisuperficies, las cuales cuando se encuentran fuera de un aeropuerto o helipuerto presentan unas condiciones especiales en cuanto a materiales y visibilidad por necesitar estar libre de obstáculos. Las helisuperficies aisladas normalmente no disponen de instalaciones para suministro de combustible ni otro tipo de servicios, por lo que este tipo de instalaciones puede encontrarse en las azoteas de edificios, plataformas petrolíferas *offshore*, buques, etc.



Figura 1 - Helipuerto con distintas superficies de aterrizaje y hangares. Fuente: Google images.

3. Clasificación según su ubicación

3.1. Helipuertos de superficie.

Según el anexo 14 de la OACI, se define como helipuerto de superficie a un helipuerto emplazado en tierra o sobre una estructura en la superficie del agua. Las principales características físicas que definen un helipuerto de superficie es que dispondrán como mínimo un área de aproximación final y de despegue (FATO), la cual puede estar situada en una franja de pista o de calle de rodaje.

Generalmente no existe una estructura donde aterrice el helicóptero, sino que se trata de un pavimento directamente de las mismas características que los aeropuertos, es decir, para tráfico pesado. También cabe mencionar, que helipuerto en superficie, son todos aquellos lugares que con las ayudas visuales necesarias permitan el aterrizaje, por lo que una explanada de hormigón o de tierra, podrían considerarse helipuertos de superficie.

Estos helipuertos pueden estar aislados (normalmente para uso privado), o disponer de una superficie de aterrizaje y zonas de aparcamiento tal y como se muestra en las siguientes imágenes.



Figura 2 - Helipuerto de superficie sobre el agua en Brookling. Fuente: Google Earth.



Figura 3 - Helipuerto de superficie en tierra. Fuente: Google images.

3.2. Helipuertos elevados

Se define helipuerto elevado a todo helipuerto emplazado sobre una estructura elevada. Generalmente se trata de helipuertos individuales donde la zona de aproximación final y de despegue coincide con la de estacionamiento del helicóptero. En este tipo de helipuertos se ha de considerar en el diseño de la estructura portante del helipuerto cargas adicionales como la presencia de personal, nieve, carga, combustible para reabastecimientos, equipo de extinción de incendios, etc. También es de vital importancia estudiar la orientación del área de aproximación del helipuerto y la influencia del viento al estar normalmente limitado por obstáculos como edificios colindantes.

En el caso de los materiales de los que están formados los helipuertos elevados tenemos de todas las características. En edificios de nueva construcción se suelen realizar los helipuertos de hormigón integrándolos con la estructura y considerando el mismo durante la fase de proyecto, aunque cada vez es mas habitual el uso de materiales metálicos como el acero y el aluminio por su facilidad constructiva, aunque requiere un mayor mantenimiento. Sin embargo, cuando el helipuerto se instala sobre la cubierta de un edificio ya construido, una vez comprobado que la estructura es apta para soportar las cargas del aterrizaje de un helicóptero, se suelen emplear estructuras metálicas lo que suponen un ahorro significativo en cuando a peso y facilidad constructiva.

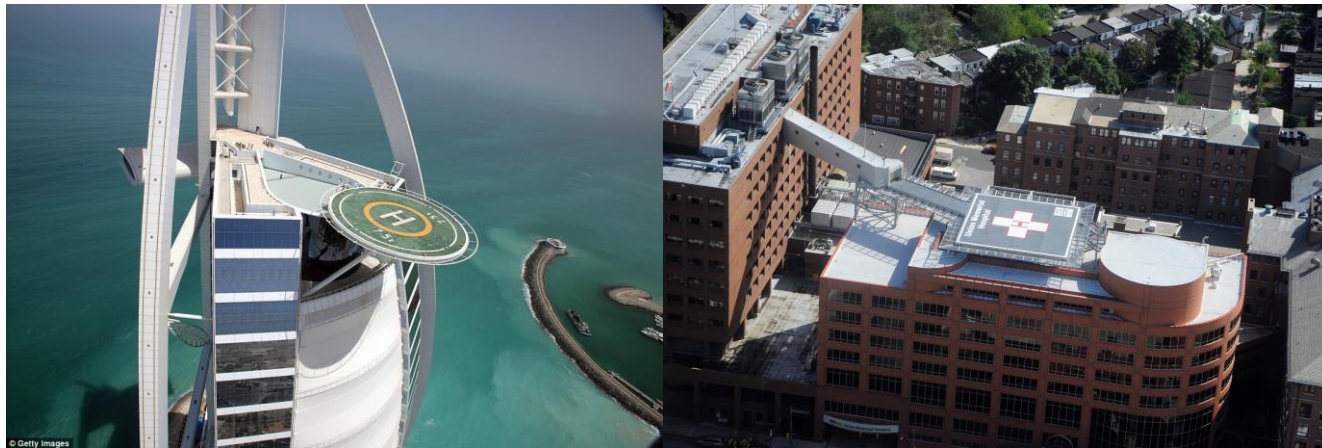


Figura 4 - Helipuertos elevados sobre edificios. Fuente: Google images.

3.3. Heliplataformas

Una heliplataforma se trata de un helipuerto situado en una instalación fija o flotante mar adentro, generalmente sobre una estructura, características de unidades de exploración o producción utilizadas para la explotación de petróleo o gas. Al igual que ocurre con los helipuertos elevados las Heliplataformas pueden ser de cualquier forma, pero deberán disponer de espacio suficiente para albergar en su interior una zona de aproximación y despegue coincidente con la zona libre de obstáculos donde se aterrice.

Los helipuertos en las Heliplataformas están condicionados por la climatología, por el proceso constructivo y el mantenimiento que requerirán, por lo que es prácticamente de obligado cumplimiento el uso de materiales metálicos como el acero o el aluminio indistintamente. El uso de un material u otro se basará principalmente en la decisión y los requisitos necesarios, pero ambas soluciones deberán prestar especial atención a la corrosión por encontrarse en entornos marinos expuestos a cloruros que afectarán a los materiales.



Figura 5 - Heliplataforma offshore. Fuente: Google images.

3.4. Helipuerto a bordo de un buque

Un helipuerto a bordo de un buque puede haber sido construido exprofeso o no. Los helipuertos construidos exprofeso son aquellos destinados específicamente a operaciones de helicópteros y generalmente están formados por una estructura ligera sobre la que aterriza el helicóptero. En el caso de helipuertos no construidos exprofeso son aquellos que utilizan un área del buque capaz de soportar helicópteros, pero que no han sido destinados para ese fin.



Figura 6 - Helipuerto exprofeso sobre un buque. Fuente: Google images.

Al igual que ocurre en las Heliplataformas el aluminio y el acero son las soluciones mas utilizadas en los buques. Si bien es cierto que el acero se ha estado empleando mayoritariamente, hoy en día las soluciones con aluminio estructural de alta resistencia están en auge, y esto es debido a la reducción significativa de peso de la estructura.

Aun así, es muy usual encontrar soluciones mixtas, donde estructura en celosa que eleva el helipuerto de la cubierta es de acero, y la superestructura formada por el tablero y un entramado de barras es en aluminio.



Figura 7 - Helipuerto no construido exprofeso. Fuente: CAP 437.

Partiendo de que el aluminio es un material que se esta imponiendo en el mercado de las estructuras offshore, y por las propiedades y características que se expondrán en los siguientes apartados, se ha decidido que el material con el que se diseñara el helipuerto objeto de este trabajo sea el aluminio.

4. Aluminio. Bases teóricas

En la actualidad, el aluminio empieza a ser uno de los metales más empleados debido a una combinación de propiedades convenientes para el desarrollo de una sociedad más sostenible. Se trata de un metal ligero con una alta maleabilidad y facilidad de mecanizado, resistente a la corrosión y con una buena conductividad, convirtiéndose en un material de reclamo en ciertas industrias y aplicaciones.

El aluminio después del oxígeno y el silicio es uno de los elementos más común en la corteza terrestre en forma de diferentes minerales, los cuales se forman con la descomposición y disolución de rocas. Por este motivo, y teniendo en cuenta su alta resistencia a la corrosión, y su resistencia, se tiene un material con una larga vida útil.

También se trata de un material sostenible, puesto que hoy en día se sigue utilizando el 75% de todo el aluminio producido a lo largo de la historia, y pudiéndose reciclar cíclicamente sin que se pierdan sus propiedades.

4.1. Un poco de historia

El aluminio es descubierto a principios del siglo XIX, y no es hasta 1821, en Les Baux, en Francia donde se descubre una roca que contiene un 50% de aluminio, a la que se le denomina bauxita. Hasta 1854, el aluminio no se produce industrialmente mejorando el proceso de laboratorio de Whöler de 1837. En 1855, en la Exposición Universal de París, cuando Deville, animado por Napoleón III, exhibe una barra de aluminio puro. En ese momento el precio del aluminio equiparable al de las piedras preciosas, cae en picado hasta un 90%. Durante los siguientes años se mejoro el proceso llegando a producir en 1885 quince toneladas anuales. Pero no es hasta 1886 cuando se inventa el proceso de producción por electrolisis, mismo método utilizado hoy en día.

La primera vez que se utiliza el aluminio en el exterior es en 1893, en la estatua de Cupido en Picadilly Circus, y es mencionado debido a que tras 40 años a la intemperie y a duras condiciones climáticas no presentaba muestras de corrosión.



Figura 8 - Estatua de Eros de aluminio en Picadilly Circus, Londres. Fuente: Google Images.

La primera aplicación a nivel arquitectónico podría tratarse del revestimiento de la cúpula de la iglesia de San Gioacchino en Roma en 1898, queriendo mostrar con ello el arquitecto el avance en la tecnología de la época al usar un nuevo material ligero, dúctil e inalterable a la intemperie.



Figura 9 - Revestimiento exterior de la cúpula de la iglesia de San Gocchiano. Fuente: Dreamstime.

En la primera década del siglo XX, comienza a usarse el aluminio en la arquitectura, principalmente en cerramientos combinado con otros materiales, pero su principal aplicación en este momento se centra en la construcción de los dirigibles, empleados durante la Primera Guerra Mundial. Este desarrollo en el mundo de los dirigibles, provocó un avance en la tecnología y fabricación de perfiles y los sistemas de corte y unión, y en la aleación del aluminio con otros metales, revolucionando la industria aeronáutica.

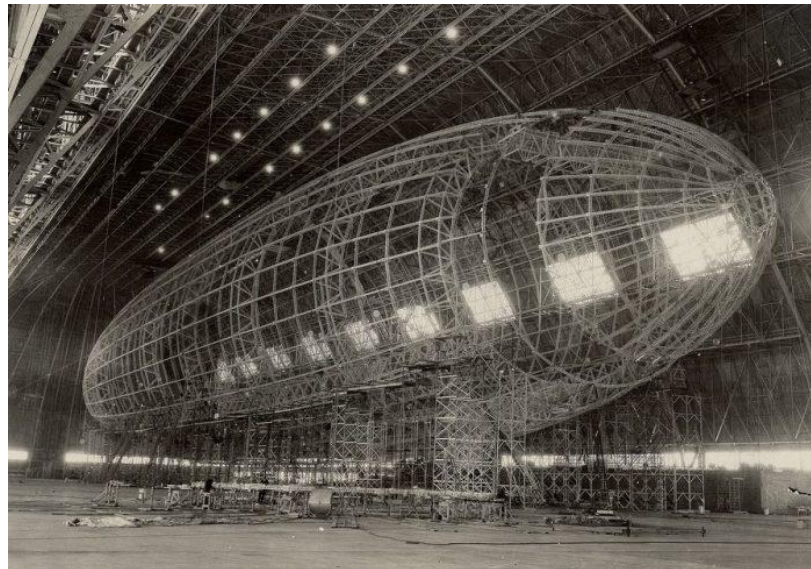


Figura 10 - Casco del dirigible USS Akron. Fuente: Flickr.

Durante los siguientes, años se empezó a experimentar con prototipos de casas unifamiliares ligeras enteras de aluminio con espacios abiertos y de reducidas dimensiones, que llegó a alcanzar un precio competitivo con las construcciones de la época, pero que tenía la problemática de que cada unidad debía terminarse en taller enteramente y su posterior traslado.



Figura 11 - Wichita House, Kansas de R. Buckminster. Fuente: Tumblr.

Los primeros perfiles de aluminio extruido se crean en la mitad del siglo XX, debido a la mejora y el estudio en los cerramientos de aluminio para las fachadas, principal aplicación en la construcción. En 1954, se construye el Pabellón para el Centenario del Aluminio entero de aluminio a manos de Prouvé, conformado por aluminio plegado en la cubierta, extruido para los pilares y moldeado para las piezas de apoyo. Durante la segunda mitad del siglo XX la construcción en aluminio se caracteriza por su industrialización y comercialización y aumento de la calidad constructiva de las edificaciones, principalmente cerramientos y fachadas.

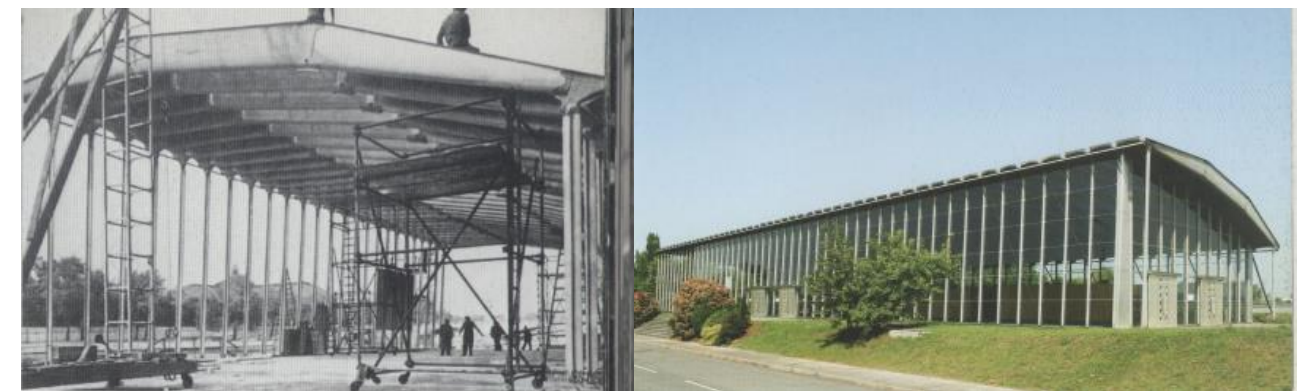


Figura 12 - Pabellón centenario del aluminio de 1954, París. Fuente: Proyectos4etsa.

En la década de los noventa, es cuando se revoluciona el proyecto de cerramientos singulares de aluminio para fachadas y cubiertas, y empieza a experimentarse en la construcción de pequeñas casas prefabricadas, tratándose prácticamente de proyectos de investigación., utilizando los mismos paneles que hacen de estructura como cerramiento.

Hoy en día se sigue investigando y desarrollando soluciones estructurales con aluminio, que mejoren sus capacidades mecánicas y resistentes y avancen en su comportamiento estructural.



Figura 13 - Revestimiento a base de discos de aluminio de los almacenes Selfridges en Birmingham. Fuente: Google Images.

4.2. Proceso de obtención del aluminio

Extracción de la bauxita

La bauxita es el principal material en el proceso de producción del aluminio. Se forma cuando se descomponen ciertas rocas con alto contenido en óxidos de aluminio, hierro y silicio, y para que sea explotable ha de contener un 20-30 % de aluminio. La explotación se realiza a cielo abierto, por lo que hay que reducir el impacto ambiental. Para ello, la explotación se realiza siguiendo un patrón, y controlando el medio antes, durante y después de la misma. En el proceso de extracción los árboles y arbustos talados, se trasladan a superficies cercanas con el fin de recuperar el medio original de una manera más sencilla.

Fabricación de alúmina

Debido a que la bauxita no puede utilizarse para la producción de aluminio tal y como se extrae del medio ambiente, se transforma en alúmina u óxido de aluminio (Al_2O_3), mediante el método Bayer. Este método consiste en disolver la bauxita triturada con una disolución alcalina, y con ella mediante electrolisis ígnea se obtiene el aluminio. Generalmente este proceso se realiza en países con una calidad de suministro eléctrico alta.

Como orden de magnitud, para obtener 1 kg de aluminio, se necesitan unos 2 kg de alúmina, producidos a partir de 4 kg de bauxita.

En cuanto al impacto medioambiental, una vez extraída la alúmina, queda el barro rojo y los compuestos alcalinos de la disolución Bayer. El barro rojo se trata del resto de componentes de la bauxita, como sílice e hidróxidos de hierro, y es depositado en depósitos de grandes dimensiones. Sin embargo, el contenido alcalino se recicla y se reintegra en el proceso Bayer.

Fabricación del aluminio primario

Para reducir el óxido a metal se necesita una gran cantidad de energía eléctrica. Para la electrolisis de 1 kg de metal se necesitan unos 13kWh, tratándose de una inversión para el futuro puesto que es una energía bien empleada que suele recuperarse durante la vida útil del producto, más aún, si se procede a diseños ecológicos.

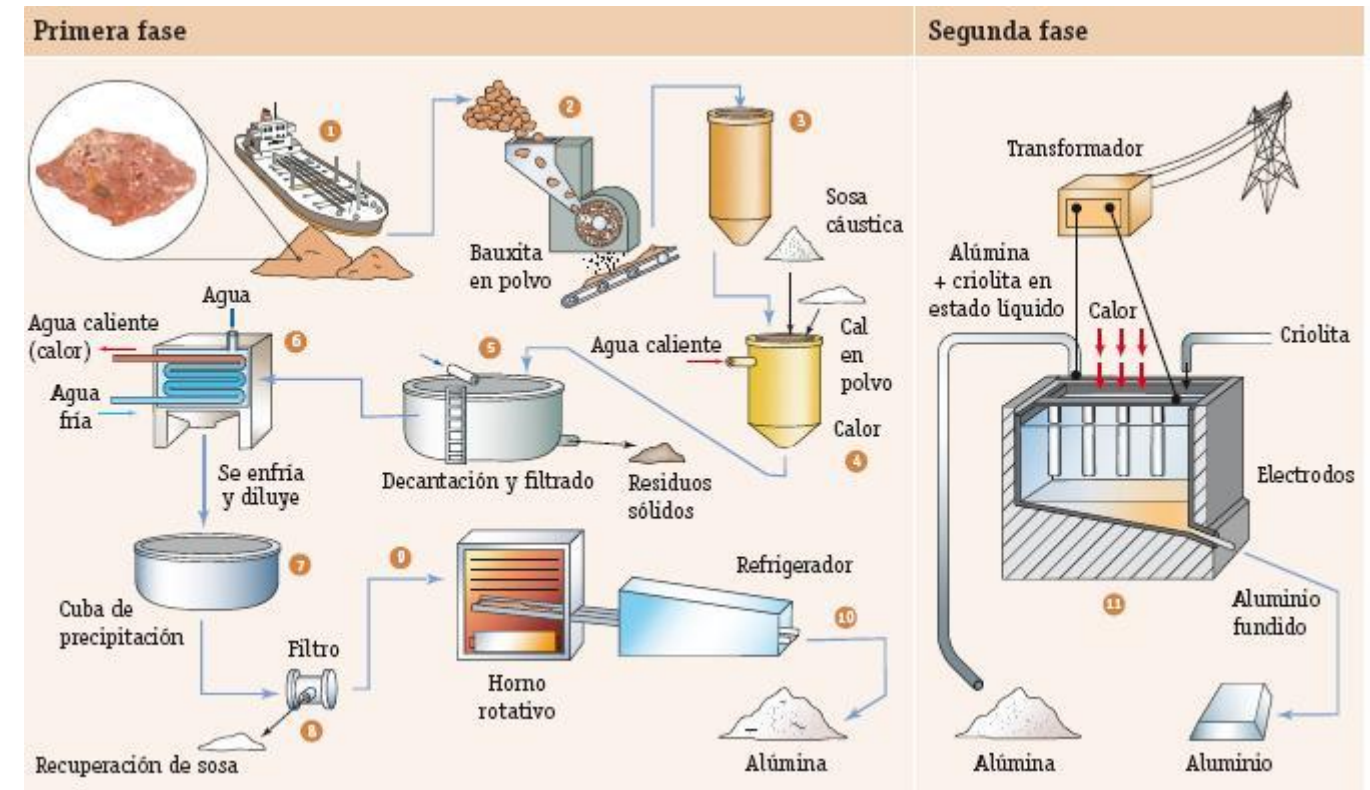


Figura 14 - Esquema proceso de obtención del aluminio. Fuente: Google Images.

Reciclaje

Todo el aluminio disponible puede reciclarse para la producción de nuevos productos, debido a que el aluminio se recicla sin que se deteriore su calidad y sin apenas pérdidas de material durante el proceso. Para el reciclaje del aluminio, únicamente es necesario un 5% de la aportación energética original, obteniéndose un metal con las mismas características que el aluminio primario. Por lo tanto, al volver a fundir no solo se reutiliza el metal, sino que se está ahorrando un 95% de la aportación energética original.

Por otra parte, con una tonelada de metal refundido se reduce en ocho toneladas la emisión de gases de efecto invernadero en comparación con la emisión que se produce durante el proceso de obtención del aluminio primario.

4.3. Tratamientos

La mayoría de las aleaciones pueden ver mejoradas sus características aplicando diferentes tratamientos en su proceso de fabricación tanto térmicos que mejoran principalmente la resistencia de la aleación, como superficiales, que mejoran la apariencia y la funcionalidad del material. En este apartado se explican los diferentes tratamientos y la designación comúnmente utilizada de cara a establecer un marco completo a la hora de elegir el material que se utilizará para la estructura del helipuerto.

4.3.1. Tratamientos térmicos

El recocido de solubilización es un tratamiento que se hace calentando el material a alta temperatura durante la extrusión controlando la temperatura del tocho entrante y la del perfil saliente. El proceso que le sucede es envejecimiento térmico o endurecimiento en hornos especiales durante varias horas, o envejecimiento natural, que es el endurecimiento espontáneo del material a temperatura ambiente.

La designación común de los diferentes tratamientos es la que se muestra a continuación:

- F Estado bruto:** Material tras el proceso de fabricación sin tratar.
- O Recocido:** Materiales que han sufrido un recocido completo.
- O1** Recocido a alta temperatura y enfriamiento lento.
- O2** Sometido a tratamiento termomecánico.
- O3** Homogeneizado.
- W Solucion tratada térmicamente:** Materiales que tras recibir un tratamiento térmico presentan una estructura inestable y sufren envejecimiento natural.
- H Estado de acritud:** Se da en materiales a los que se les ha realizado un endurecimiento por deformación.
- H1** Endurecido por deformación hasta obtener el nivel deseado y sin tratamiento posterior.
- H2** Endurecido en exceso por deformación y recocido parcial para recuperar suavidad sin perder ductilidad.
- H3** Acritud y estabilizado.
- H4** Acritud y lacado o pintado.
- T Endurecimiento por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior:** Aplicable en aleaciones termotratables.
- T1** Enfriado partiendo de una elevada temperatura y envejecido de forma natural.
- T2** Enfriado partiendo de una elevada temperatura, trabajado en frío y envejecido de manera natural.
- T3** Aleación tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida a temperatura ambiente.
- T4** Aleación tratada térmicamente y envejecida a temperatura ambiente.
- T5** Enfriado partiendo de una elevada temperatura y envejecido de forma artificial.
- T6** Aleación tratada térmicamente y envejecida artificialmente.
- T7** Aleación tratada térmicamente y sobreenvejecida para su completa estabilización.
- T8** Aleación tratada térmicamente por disolución, trabajada en frío y envejecida de forma artificial.
- T9** Aleación tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida de forma artificial.
- T10** Enfriado partiendo de una elevada temperatura, trabajado en frío y envejecido de forma artificial.

4.3.2. Tratamientos superficiales

Debida a la buena resistencia a la corrosión que presenta el aluminio, no sería necesario aplicar tratamientos que protejan la superficie, aunque con los tratamientos adecuados se pueden modificar el color del aluminio, la estructura superficial, la dureza, la fricción, la reflectividad de la superficie, etc. mejorando la apariencia y la funcionalidad del perfil.

En cuanto a los principales tratamientos superficiales mecánicos hay que distinguir entre el desbastado, el pulido simple, y el pulido a bombo del aluminio.

El proceso de desbastado deja una fina estriación en el sentido que se realice, siendo su principal uso para el mobiliario y productos de diseño de interiores. Estas superficies se pueden anodizar y pintar.

El pulido sobre perfiles de aluminio iguala la superficie en su totalidad mejorando el brillo, siendo requisito el anodizado de la superficie pulida.

El pulido a bombo se usa principalmente para el desbarbado, consiguiendo diferentes acabados de superficie en función del método utilizado en el tambor

Anodización

El proceso de anodización es utilizado para conseguir las siguientes aplicaciones:

- Crear una superficie que repele la suciedad, y dota al material de un aspecto nuevo durante más tiempo.
- Mejora la resistencia a la corrosión.
- Crear una superficie con revestimiento electroaislante.

El proceso de anodización consta de varios baños de tratamiento y se divide en:

- Desengrase: El material se limpia de grasa y suciedad antes del decapado.
- Decapado: Se decapa en sosa caústica para obtener una superficie mate uniforme.
- Enjuague y baño de limpieza.
- Anodización: El perfil es sumergido en ácido sulfúrico a temperatura ambiente, conectándole una fuente de corriente continua. La superficie metálica se convierte en óxido por el proceso electroquímico que continua hasta obtener un espesor de 5-25 μm . Para sellar los poros que aparecen se sellan los poros en un baño de agua casi en ebullición.
- Enjuague y coloración en caso de ser requerida.
- Sellado: Aumenta la resistencia a la corrosión.

4.4. Aleaciones del aluminio

El aluminio puro se trata de un metal relativamente blando, por lo que se mezcla con otros elementos para suplir esta característica y mejorar otras en función de la aleación que se realice. Por lo que a la hora del diseño es vital elegir una aleación correcta.

La resistencia del aluminio se puede ver aumentada usando elementos de aleación como Cobre, Magnesio, Silicio, Cinc y Litio.

La siguiente tabla muestra las diferentes series de aluminio que se utilizan basadas en un sistema universal para su identificación, donde la primera cifra hace referencia al elemento principal de la aleación:

| Elem. Aleación | Código de aleación | Tipo de aleación |
|--------------------|--------------------|------------------|
| Aluminio puro | Serie 1000 | No endurecible |
| Cobre | Serie 2000 | Endurecible |
| Manganeso | Serie 3000 | No endurecible |
| Silicio | Serie 4000 | No endurecible |
| Magnesio | Serie 5000 | No endurecible |
| Magnesio + Silicio | Serie 6000 | Endurecible |
| Cinc | Serie 7000 | Endurecible |
| Otros | Serie 8000 | |

Figura 15 - Código de aleación en función del elemento de aleación. Fuente: SAPA.

Las aleaciones de la serie 1000, 2000 y 3000 no son tratables con calor y son utilizadas en aplicaciones de transmisión de calor en la industria automovilística y en el sector eléctrico, por su resistencia a la corrosión y buena conductividad térmica.

Las aleaciones de la serie 5000 presentan una excelente resistencia a la corrosión en entornos de agua salda, siendo un material muy utilizado en cascos de embarcaciones. Es más fácil de soldar que las aleaciones de la serie 6000, presentado una dureza mayor después de la soldadura.

A nivel estructural las series 6000 y 7000 son las más utilizadas por las propiedades mecánicas que presentan. Con carácter general, en algunas aleaciones el manganeso y el cromo se utilizan para incrementar la resistencia. El hierro en grandes cantidades, por el contrario, puede afectar negativamente a la productividad y al acabado.

La serie 6000 formada con magnesio y silicio es fácil de laminar y extruir, y presenta una buena resistencia a la corrosión y fácil soldabilidad.

La serie 7000, se trata de una aleación con zinc utilizada cuando se requieren especificaciones de resistencia elevadas. Presenta muy buena resistencia a la corrosión y es utilizada en estructuras soldadas, ya que permite la misma resistencia en la zona afectada por calor.

A continuación, se muestra una tabla extraída del Eurocodigo 9 don de se pueden observar los valores característicos de la tensión de las diferencias series de aleaciones que contempla, para casos donde se realizan soldaduras y en los que no. En rojo se recuadra la serie y el tipo de aluminio que se usará para el diseño del helipuerto, tal y como se describirá en el anejo N°2 – Anejo estructural. Parte 2 – Análisis y dimensionamiento de la estructura.

Table 3.2b - Characteristic values of 0,2% proof strength f_0 and ultimate tensile strength f_u (unwelded and for HAZ), min elongation A , reduction factors $\rho_{0,HAZ}$ and $\rho_{u,HAZ}$ in HAZ, buckling class and exponent n_p for wrought aluminium alloys - Extruded profiles, extruded tube, extruded rod/bar and drawn tube

| Alloy EN- AW | Product form | Temper | Thick- ness t mm 1) 3) | f_0 1) | f_u 1) | A 5) 2) | $f_{0,HAZ}$ 4) | $f_{u,HAZ}$ 4) | HAZ-factor 4) | | BC 6) | n_p 7) |
|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|----------|-------------|
| | | | | N/mm ² | N/mm ² | % | N/mm ² | N/mm ² | $\rho_{0,HAZ}$ | $\rho_{u,HAZ}$ | | |
| 5083 | ET, EP,ER/B | O/H111, E, H112 | $t \leq 200$ | 110 | 270 | 12 | 110 | 270 | 1 | 1 | B | 5 |
| | DT | H12/22/32 | $t \leq 10$ | 200 | 280 | 6 | 135 | 270 | 0,68 | 0,96 | B | 14 |
| | | H14/24/34 | $t \leq 5$ | 235 | 300 | 4 | | | 0,57 | 0,90 | A | 18 |
| 6060 | EP,ET,ER/B | T5 | $t \leq 5$ | 120 | 160 | 8 | 50 | 80 | 0,42 | 0,50 | B | 17 |
| | EP | | $5 < t \leq 25$ | 100 | 140 | 8 | | | 0,50 | 0,57 | B | 14 |
| | ET,EP,ER/B | T6 | $t \leq 15$ | 140 | 170 | 8 | 60 | 100 | 0,43 | 0,59 | A | 24 |
| | DT | | $t \leq 20$ | 160 | 215 | 12 | | | 0,38 | 0,47 | A | 16 |
| | EP,ET,ER/B | T64 | $t \leq 15$ | 120 | 180 | 12 | 60 | 100 | 0,50 | 0,56 | A | 12 |
| | EP,ET,ER/B | T66 | $t \leq 3$ | 160 | 215 | 8 | 65 | 110 | 0,41 | 0,51 | A | 16 |
| | | | $3 < t \leq 25$ | 150 | 195 | 8 | | | 0,43 | 0,56 | A | 18 |
| 6061 | EP,ET,ER/B,DT | T4 | $t < 25$ | 110 | 180 | 50 | 95 | 150 | 0,86 | 0,83 | B | 8 |
| | EP,ET,ER/B,DT | T6 | $t \leq 20$ | 240 | 260 | 8 | 115 | 175 | 0,48 | 0,67 | A | 55 |
| 6063 | EP,ET,ER/B | T5 | $t \leq 3$ | 130 | 175 | 8 | 60 | 100 | 0,46 | 0,57 | B | 16 |
| | EP | | $3 < t \leq 25$ | 110 | 160 | 7 | | | 0,55 | 0,63 | B | 13 |
| | EP,ET,ER/B | T6 | $t \leq 25$ | 160 | 195 | 8 | 65 | 110 | 0,41 | 0,56 | A | 24 |
| | DT | | $t \leq 20$ | 190 | 220 | 10 | | | 0,34 | 0,50 | A | 31 |
| | EP,ET,ER/B | T66 | $t \leq 10$ | 200 | 245 | 8 | 75 | 130 | 0,38 | 0,53 | A | 22 |
| | EP | | $10 < t \leq 25$ | 180 | 225 | 8 | | | 0,42 | 0,58 | A | 21 |
| | DT | | $t \leq 20$ | 195 | 230 | 10 | | | 0,38 | 0,57 | A | 28 |
| 6005A | EP/O, ER/B | T6 | $t \leq 5$ | 225 | 270 | 8 | 115 | 165 | 0,51 | 0,61 | A | 25 |
| | | | $5 < t \leq 10$ | 215 | 260 | 8 | | | 0,53 | 0,63 | A | 24 |
| | | | $10 < t \leq 25$ | 200 | 250 | 8 | | | 0,58 | 0,66 | A | 20 |
| | EP/H, ET | T6 | $t \leq 5$ | 215 | 255 | 8 | | | 0,53 | 0,65 | A | 26 |
| | | | $5 < t \leq 10$ | 200 | 250 | 8 | | | 0,58 | 0,66 | A | 20 |
| 6106 | EP | T6 | $t \leq 10$ | 200 | 250 | 8 | 95 | 160 | 0,48 | 0,64 | A | 20 |
| 6082 | EP,ET,ER/B | T4 | $t \leq 25$ | 110 | 205 | 14 | 100 | 160 | 0,91 | 0,78 | B | 8 |
| | EP/O, EP/H | T5 | $t \leq 5$ | 230 | 270 | 8 | 125 | 185 | 0,54 | 0,69 | B | 28 |
| | EP/O,EP/H ET | T6 | $t \leq 5$ | 250 | 290 | 8 | 125 | 185 | 0,50 | 0,64 | A | 32 |
| | | | $5 < t \leq 15$ | 260 | 310 | 10 | | | 0,48 | 0,60 | A | 25 |
| | ER/B | T6 | $t \leq 20$ | 250 | 295 | 8 | | | 0,50 | 0,63 | A | 27 |
| | | | $20 < t \leq 150$ | 260 | 310 | 8 | | | 0,48 | 0,60 | A | 25 |
| | DT | T6 | $t \leq 5$ | 255 | 310 | 8 | | | 0,49 | 0,60 | A | 22 |
| | | | $5 < t \leq 20$ | 240 | 310 | 10 | | | 0,52 | 0,60 | A | 17 |
| 7020 | EP,ET,ER/B | T6 | $t \leq 15$ | 290 | 350 | 10 | 205 | 280 | 0,71 | 0,80 | A | 23 |
| | EP,ET,ER/B | T6 | $15 < t < 40$ | 275 | 350 | 10 | | | 0,75 | 0,80 | A | 19 |
| | DT | T6 | $t \leq 20$ | 280 | 350 | 10 | | | 0,73 | 0,80 | A | 18 |

4.5. Propiedades del aluminio

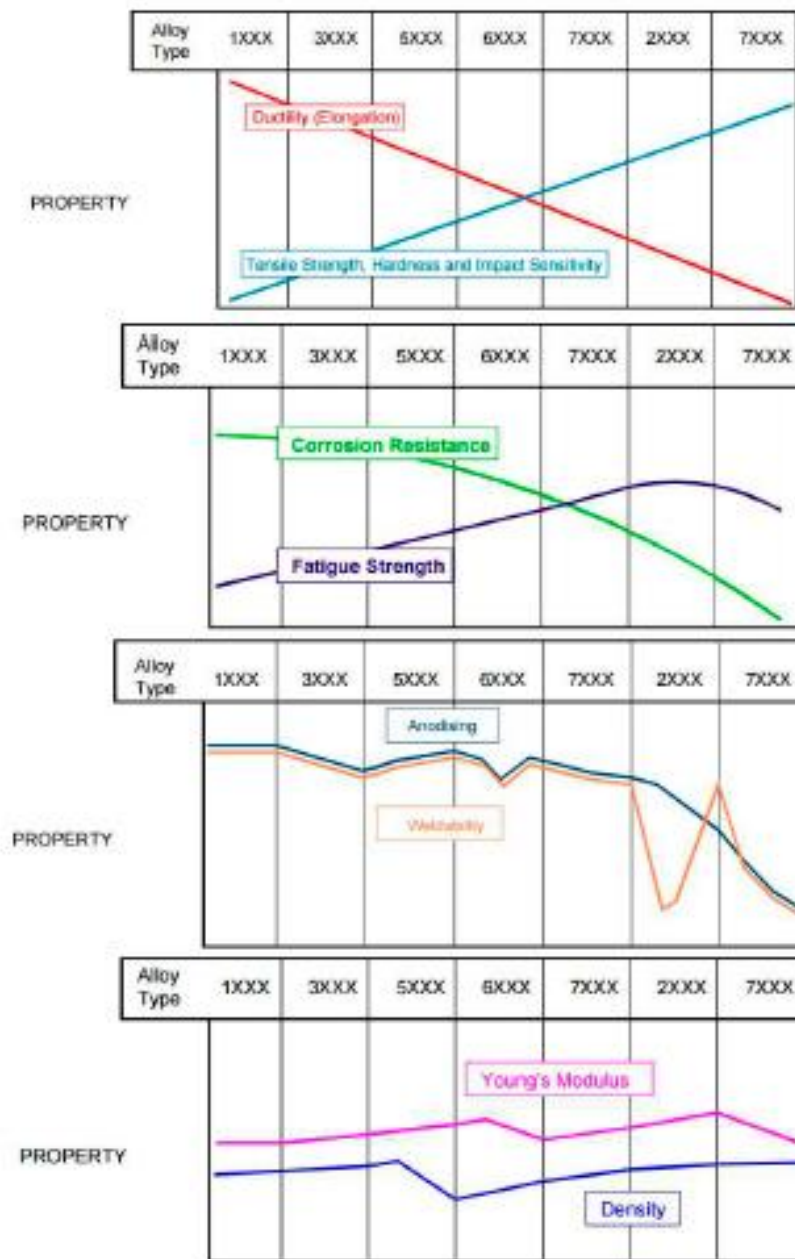
Las principales propiedades que presenta el aluminio como material son las que se presentan a continuación:

Resistencia

La resistencia a tracción de las diferentes aleaciones de aluminio oscila éntrelos 70 y 700 MPa, frente a los 150-300 MPa que presentan otras aleaciones en extrusión.

Mientras que el acero reduce su resistencia y se vuelve quebradizo a bajas temperaturas, el aluminio aumenta su resistencia. Sin embargo, ocurre lo contrario a altas temperaturas, ya que, a temperaturas superiores a los 100°C, su resistencia se ve afectada hasta tal punto que debe considerarse en la fase de diseño.

A continuación, se muestra una serie de gráficas donde se pueden observar la variación de diferentes propiedades mecánicas en función de la serie de aluminio:



Peso

La densidad del aluminio es de 2,7 g/m³, aproximadamente un tercio de la densidad del acero (7,8 g/m³).

Maleabilidad

El aluminio presenta muy buena maleabilidad, por lo que es ideal para la extrusión de perfiles de aluminio, aunque también se utiliza en muchas otras aplicaciones tanto en frío como en caliente.

Conductividad

Es un excelente conductor del calor y la electricidad. Por ejemplo, un conductor de aluminio pesa la mitad que uno de cobre a igual conductividad.

Aislamiento

Cuanto mayor es la conductividad del material, mejor es la capacidad aislante del material, por lo que el aluminio presenta un alto grado de aislamiento.

Estanqueidad

Las láminas de aluminio son completamente estancas al agua, gases, aromas y bacterias.

Resistencia a la corrosión

Cuando el aluminio reacciona con el oxígeno, se forma una fina capa de óxido de unas centésimas de μm que proporciona una buena protección contra la corrosión que cuando se daña se forma otra rápidamente. En cuanto al anodizado, mejora la protección contra la corrosión debido a un espesor entre 15 y 25 μm, en función de la clase de exposición.

4.6. Corrosión

Tal y como se ha comentado el aluminio ofrece una buena resistencia a la corrosión, principalmente a que se recubre de una fina capa de óxido de aluminio hermética que impide más oxidación. Esta capa de óxido es un factor determinante para la protección contra la corrosión, comportándose de manera muy estable en un rango de pH de 4 a 9, y corroyéndose con rapidez en entornos ácidos o alcalinos. Los tipos de corrosión más comunes son la corrosión galvánica, la corrosión por picaduras y la corrosión intersticial.

4.6.1. Tipos de corrosión

Corrosión galvánica

La corrosión galvánica se produce cuando dos metales diferentes entran en contacto cuando se produce un puente electrolítico entre los metales. En este caso, el metal menos noble (ánodo) se corroe y el metal más noble (cátodo) queda protegido frente a la corrosión. Debido a que el aluminio es uno de los metales menos nobles, el riesgo de corrosión galvánica es mayor que para el resto de los metales. Para que se produzca la corrosión galvánica del aluminio ha de cumplirse siempre las siguientes condiciones:

- Entrar en contacto con un metal más noble o algún conductor de electrones con un potencial químico mayor que el del aluminio.
- Existencia de un electrolito con buena conductividad entre los metales y el oxígeno.

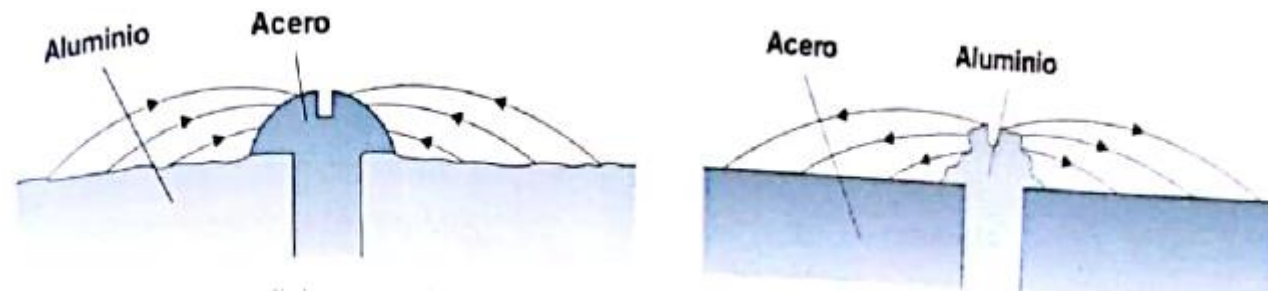


Figura 16 - Esquema de corrosión galvánica entre acero y aluminio. Fuente: SAPA.

Para prevenir el riesgo de protección galvánica se puede recurrir a los siguientes métodos:

- **Aislamiento eléctrico:** El aislamiento eléctrico se puede impedir completamente aislando en su totalidad el contacto metálico. Un ejemplo que será de aplicación en el diseño del helipuerto es el que se muestra en la imagen.

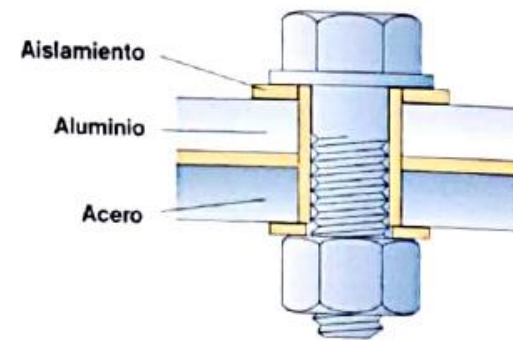


Figura 17 - Aislamiento eléctrico en una unión atornillada. Fuente: SAPA.

- **Interrupción del puente electrolítico:** Cuando se trata de estructuras de grandes dimensiones donde el aislamiento total entre metales supone una dificultad, se puede recurrir a pinturas aislantes, normalmente sobre la superficie del cátodo.
- **Protección catódica:** La forma más común consiste en montar ánodos en contacto metálico con el objeto de aluminio que se desea proteger, con el fin de que este metal menos noble se corra, pero ha de estar en contacto líquido con la superficie a proteger, por lo que suele ser de aplicación en motores de embarcaciones. Otra forma de protección es conectar el aluminio al polo negativo de una fuente de corriente continua externa.

Corrosión por picaduras

Es la forma más común de corrosión en el aluminio, se produce en presencia de un electrolito como agua o cloruros. Se trata de ataques pequeños y a zonas localizadas en la intemperie, los cuales presentan una profundidad máxima igual a una fracción del espesor del material.

Para prevenir la corrosión por picaduras el aluminio pasa por un tratamiento superficial como pinturas, anodización y diferentes tratamientos, lo que impide que los puntos de ataque sean visibles en la superficie del aluminio. También es posible contrarrestar la corrosión por picaduras mediante la protección catódica explicada en el punto anterior.



Figura 18 - Tornillo y tuerca afectados por corrosión por picaduras frente a tratados previamente. Fuente: SAPA.

Corrosión intersticial

Este tipo de corrosión, poco probable en perfiles extruidos, puede producirse en pequeñas grietas llenas de líquido. Cuando el agua se acumula en las pequeñas grietas formadas entre las superficies de aluminio suprayacentes provoca manchas de agua. La correcta manera de prevenir la corrosión intersticial es mediante el uso de un compuesto de sellado o cinta adhesiva a doble cara antes de la unión, impidiendo la penetración de agua.

4.6.2. Aluminio al aire libre

El principal motivo que produce la corrosión de los metales al aire libre es debido al tiempo de humedad y a la composición del electrolito superficial, siendo el tiempo de humedad el tiempo en el cual la superficie del metal esta tan húmeda que puede producirse corrosión, es decir, una humedad relativa del 80%.

Ya se ha mencionado que el aluminio presenta muy buena resistencia a la corrosión tanto en entornos normales como poco sulfurosos. Pero al igual que el resto de los metales en entorno muy sulfurosos se pueden producir picaduras superficiales, siendo la resistencia del aluminio notablemente mayor que en el caso del acero al carbono o acero galvanizado. La profundidad de la corrosión que se provoca en la superficie del aluminio, por norma general, es solo una pequeña fracción del espesor del metal.

En comparación con otros metales, como el acero al carbono y el acero galvanizado se han realizado estudios y ensayos bajo diferentes condiciones climáticas en un periodo de tiempo prolongado, que presentan los siguientes resultados:

- El valor medio de las picaduras en las chapas de aluminio era de 0.07 mm
- El aluminio presenta una pérdida de peso cerca del mar de 1/100 parte de la del acero al carbono.
- El aluminio presenta una pérdida de peso cerca del mar de 1/10 parte de la del acero galvanizado.

En conclusión, la velocidad de corrosión en el aluminio se reduce a medida que nos alejamos del mar ya que, a una distancia de 1 km, el aluminio se comporta de manera similar que, en un entorno rural, disminuyendo la velocidad de crecimiento de las picaduras a lo largo del tiempo.

4.6.3. Aluminio en tierra

Debido a que la tierra suele ser un material heterogéneo y no uniforme en cuanto su composición mineral, humedad, pH y conductividad eléctrica; y sumado a factores externos como pueden ser fugas, es difícil conocer con exactitud el comportamiento de los metales en tierra. Por estos motivos para el uso de aluminio en tierra, y ante el desconocimiento exacto de su comportamiento, se recomienda aplicar un tratamiento protector en la superficie o una protección catódica para prevenir la corrosión.

4.6.4. Aluminio en agua

En contacto con el agua, los cloruros y los metales pesados son los factores que más afectan a la corrosión del aluminio. En agua dulce también se puede producir corrosión por picaduras, pero manteniendo el metal seco y limpio de manera regular el riesgo de ataques dañinos se reduce considerablemente. Sin embargo, el riesgo aumenta cuando el aluminio queda expuesto en lugares donde el agua está estancada y permanece en contacto durante un largo tiempo.

Al igual que ocurre con el aluminio en tierra, la corrosión por picaduras se puede contrarrestar mediante el uso de protección catódica y uso de aditivos químicos, aunque es interesante pensar desde el principio en soluciones de diseño donde no se produzcan o disminuyan la acumulación de agua.

El comportamiento final que presente el aluminio dependerá de las aleaciones que lo conformen tal y como se explica en el punto siguiente. En resumen, en agua marina las aleaciones AlMg con un 2.5% Mg presentan una buena resistencia, al igual que ocurre con aleaciones AlMgSi. Por el contrario, se deben evitar aleaciones con cobre a no ser que se traten anticorrosivamente.

4.7. Tipos de uniones

4.7.1. Uniones mediante soldadura por fusión

El aluminio se trata de un metal muy apropiado para el uso de soldaduras por fusión, que presenta una capa de óxido resistente, gran capacidad térmica y buena conductividad. A pesar de que existen diversos métodos de soldadura, los métodos MIG y TIG son los que predominan, tratándose de métodos de soldadura por arco en atmosfera de gas inerte.

Para realizar la soldadura con TIG y MIG se ha de usar argón y helio como gas de protección con una pureza del 95,5% debido a la formación de poros que se producen entre el óxido de aluminio y el hidrogeno en el material de soldadura. El argón y el helio se trata de gases nobles, por lo que no pueden formar compuestos químicos con otras sustancias.

La finalidad del gas es proteger el electrodo, así como la fusión contra la oxidación enfriando el electrodo.

Método MIG

La soldadura MIG se usa por regla general en grosores de mas de 1 milímetro. En este caso el material de relleno se añade en forma de alambre alimentado a través del soplete. Su campo de aplicabilidad es muy versátil, dado que se puede realizar en cualquier posición y para cualquier tipo de uniones.

Este tipo de soldaduras puede presentar velocidades de soldadura más altas que el método TIG, produciendo menos deformaciones y menores tensiones, afectando en menor medida al área afectada por el calor.

La excelente conductividad térmica que presenta el aluminio, junto con su capacidad térmica se traduce en que el arco pulsado tiene que aportar mucha energía en la soldadura con el fin de crear un baño de fusión. De esta manera, se puede evitar defectos de fijación.

Método TIG

El método TIG es usado principalmente en materiales finos de menos de 1 milímetro de grosos, aunque existen aplicaciones para espesores de hasta 12 milímetros, con previa preparación de la unión.

La soldadura TIG puede realizarse en cualquier posición, con aportación del material desde el lado, y si se realiza correctamente presenta mejores resultados que la soldadura MIG.

4.8. Conclusión

Teniendo en cuenta todas las características expuestas en los apartados anteriores, el aluminio si se utiliza correctamente presenta una vida útil mayor que el resto de los materiales estructurales.

En lo que se refiere a la resistencia el aluminio puede utilizarse en todo tipo de entornos, presentando muy buenos comportamientos en entornos rurales y moderadamente sulfurosos. En el caso de entornos muy sulfurosos y marítimos, bien es cierto que puede producirse picado superficial, pero en general la resistencia del aluminio es superior a la del acero, carbono, y acero galvanizado. Esta buena resistencia a la corrosión en ambientes marinos es una de las principales causas, por las que se ha elegido el aluminio como material de construcción del aeropuerto.

Otra de las ventajas y puntos por decidirse por el aluminio, es que hoy en día, con la tecnología apropiada, si se diseñan perfiles y superficies pensadas para la aplicación en concreto se obtienen ventajas frente a otros materiales como las que se exponen a continuación, a pesar de tener un precio mayor por kilogramo.

- Bajo coste de las matrices y de mecanización.
- Ligereza ligada a una gran resistencia.
- Vida útil larga, con apenas mantenimiento.
- Gran valor de reciclaje.

Por otra parte, existe una gran variedad de aleaciones que proporcionan diferentes propiedades entre las que se incluyen la resistencia, calidad superficial, resistencia a la corrosión, mecanización, etc. las cuales hay que plantearse la correcta elección en la fase de diseño.

Para concluir, un punto importante en la actualidad son las exigencias en cuanto al reciclaje de los materiales, las cuales son mayores en todos los sectores. Por este motivo el aluminio es un material altamente reciclable donde con poca energía se puede reciclar el 95% del material de la construcción y del transporte, y un 90% en otros sectores industriales.