**MINERAL**

**TRITURADORA**

**Precipitado**

**Na AlO2 más impurezas**

**Aluminato de Sodio**

**FILTRADO**

**Na AlO2 Líquido**

**LODO ROJO (Impurezas)**

**Bauxita Al (OH)3 más impurezas**

**LAVADO**

**SINTERIZADO**

**Al (OH)3**

**Al2O3**

**Alumina**

**REFINADO**

**Al (99.5%)**

**Al (99.9%)**

**FUNDICION**

**SODA CAUSTICA**

**Na (OH)**

**Cristales (OH) Al**

**Fig. 2.1 PROCESO DE PRODUCCION DEL ALUMINIO**

**° C**

LIQUIDO

SOLIDO

HIERRO DELTA

CUERPO CENTRADO

(9 ATOMOS)

HIERRO GAMA

CARA CENTRADA (14 ATOMOS)

HIERRO ALFA (no magnético)

HIERRO ALFA (magnético)

TIEMPO

1538°

1400°

910°

768°

TEMPERATURA

**CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL HIERRO**

(9 ATOMOS)

**140**

**120**

**100**

**80**

**60**

**40**

**20**

**0**

**0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Resistencia a la tension en p.s.i. x 1000**

**Resistencia al impacto**

**Dureza Brinell**

**Porcentaje de Carbón**

**-80 -60 -40 -20 0 20 40**

**160**

**140**

**120**

**100**

**80**

**60**

**40**

**20**

**-120 -80 -40 0 40 80**

**240**

**210**

**180**

**150**

**120**

**90**

**60**

**30**

**Energia absorvida - Jules**

**Temperatura °F**

**FT LBS**

**Temperatura °C**

**Grado Cs**

**Grado E**

**Grado EH 36**

**Grado B**

**Aire**

**Tipo Detroit Rocket**

**Descarga**

**CAJA DE AIRE DE SOPLADO**

**GOZNE**

**TUBO DE AIRE**

**METAL**

**RECUBRIMIENTO REFRACTARIO**

**Corriente de alta frecuencia**

**BAÑO**

**GAS AIRE**

**CAMARAS DE PRECALENTAMIENTO**

**PUERTAS DE CARGA**

**1500**

**1000**

**α**

**500**

**0**

**α + L**

**L**

**β + L**

**577°**

**1.65 12.6**

**99.83**

**α+ β**

**Temperatura (°C)**

**Al 20 40 60 80 Si**

**Peso porcentual de silicio**

**Resistencia a la tensión**

**3000**

**2000**

**1000**

**0**

**30**

**20**

**10**

**5 10 15**

**Modificado**

**No modificado**

**Modificado**

**Elongación (%)**

**No modificado**

**Resistencia a la tensión**

**Elongación (%)**

**Peso porcentual de Silicio**

**1600**

**1400**

**1200**

**1000**

**800**

**600**

**400**

**200**

**0**

**0 1 2 3 4 5**

**2912**

**2552**

**2192**

**1832**

**1472**

**1112**

**752**

**392**

**32**

**Temperatura**

**pH**

**Líquido**

**Líquido + Austenita**

**Austerita + Cementita**

**Cementita**

**+**

**Perlita**

**+**

**Ferrita**

**Ferrita**

**+**

**Austenita**

4.3% C

**Cementita**

**+**

**Perlita**

1.7 % C

**Ferrita**

**+**

**Perlita**

0.83 % C

**+ Fe3C**

**+ Fe3C**

**δ + γ**

-2 -4 -6 -8 -10 -12

1000

800

600

400

200

**Después de endurecido**

**Antes de endurecer**

**Porcentaje de carbón**

**Dureza V.P.N.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Tipo de Acero** | **Numerales** |
| Acero carbónico | 1xxx |
| Carbono claro | 10xx |
| Libre | 11xx |
| Libre | X13xx |
| Alto manejo acero | T13xx |
| Acero niquelado | 2xxx |
| 0.50% níquel | 20xx |
| 1.50% níquel | 21xx |
| 3.50% níquel | 23xx |
| 5.00% níquel | 25xx |
| Acero niquelado y cromado | 3xxx |
| 1.25% níquel, 0.60% cromado | 31xx |
| 1.75% níquel, 1.00% cromado | 32xx |
| 3.50% níquel, 1.50% cromado | 33xx |
| 3.00% níquel, 0.80% cromado | 34xx |
| Corrosión y acero resistente al calor | 30xxx |
| Acero molibdeno | 4xxx |
| Cromado | 41xx |
| Níquel cromo | 43xx |
| Níquel | 46xx y 48xx |
| Acero cromado | 5xxx |
| Bajo cromo | 51xx |
| Medio cromo | 52xxx |
| Corrosión y resistente al calor | 51xxx |
| Cromado vanadium acero | 6xxx |
| Acero | 7xxx y 7xxxx |
| Acero silicón manganesio | 9xxx |

**800**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Al 10 20**

**α + β**

**659 °C**

**β + L**

**γ + L**

**710 °C**

**L**

**1.95**

**α 1.82**

**β**

**Aleación 3003**

**Temperatura (°C)**

**Peso porcentual de manganeso**

**800**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Al 10 20 30**

**α + β**

**14.9**

**α + L**

**451 °C**

**L**

**α**

**β**

**Aleación 5056**

**Temperatura (°C)**

**Peso porcentual de magnesio**

**35.0**

**Peso porcentual de manganeso**

**Temperatura (°C)**

**Al 10 20**

**800**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Temperatura (°C)**

**L**

**α + L**

**548°**

**θ + L**

**52.5**

**α+ θ**

**5.65**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**Al 10 20 30 40 50 60**

**Peso porcentual de cobre**

**L + η**

**L + ε**

**626°**

**θ**

**591°**

**θ + η**

**33.2**

**α**

**θ**

**α**

**α α**

**θ**

**α**

**α**

**α**

**L**

**Ideal Tipica**

**660°**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo AISI | Fuerza de Producción | Fuerza de tensión | Observaciones | Usos |
| 301  1.7% Cr  7% Ni | 40.000 a 140.000 | 110.000 a 185.000 | Aplicaciones en alta y baja fuerza | Correas, alambre |
| 302  18% Cr  8% Ni | 37.000 a 150.000 | 90.000 a 180.000 | Propositos generales | Tuercas, pernos, correas de aparejo, aparejos de pesca |
| 303  18% Cr  8% Ni | 35.000 a 145.000 | 90.000 a 180.000 | Bueno donde la mecanica lo requiera | Tornillos, pernos, tuercas, |
| 304  18.5% Cr  8.5% Ni | 35.000 a 150.000 | 85.000 a 180.000 | Propositos generales, buena soldadura, buena resistencia a la corrosion | Pasamanos, correas de aparejos, aplicaciones estructurales donde se reuiere soldadura |
| 305  18% Cr  11.5% Ni | 37.000 a 95.000 | 85.000 a 150.000 | Buena resistencia a la corrosion | Correas, tuercas |
| 316  17% Cr  12% Ni  2.5% Mo | 35.000 a 125.000 | 85.000 a 150.000 | Excelente resistencia a la corrosion, especialmente bajo el mar | Ejes de propulsión, pernos, tuercas, correas |
| 317  19% Cr  14% Ni  3.5% Mo | 40.000 a 95.000 | 90.000 a 120.000 | Excelente resistencia a la corrosion | Ejes de propulsión. |
| 321  18.5% Cr  10% Ni  4% Mo | 35.000 a 125.000 | 87.000 a 150.000 |  |  |
| 347  18.5% Cr  10% Ni | 35.000 a 125.000 | 92.000 a 150.000 |  |  |
| 201 | 55.000 a 140.000 | 115.000 a 185.000 |  |  |
| 202 | 55.000 a 75.000 | 105.000 a 125.000 |  |  |
| 17.4 PH | 110.000 a 185.000 | 150.000 a 200.000 |  |  |
| 17.7 PH | 40.000 a 250.000 | 130.000 a 265.000 |  |  |
| 17.10 PH | 38.000 a 98.000 | 89.000 a 144.000 |  |  |
| AM-355 | 55.000 a 210.000 | 160.000 a 230.000 |  |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Material** | **Desiganacion de Grado de Endurecimiento** | **Resistencia a la Tension (Psi)** | **Esfuerzo de Fluencia (Psi)** | **Elongacion (%)** | **Mecanismo de Endurecimiento** |
| Cobre puro, recocido |  | 30,300 | 4,800 | 60 |  |
| Cobre comercialmente puro, recocido para engrosar el tamaño de grano | O5050 | 32,000 | 10,000 | 55 |  |
| Cobre comercialmente puro, recocido para afinar el tamaño del grano | O5025 | 34,000 | 11,000 | 55 | Tamaño de grano |
| Cobre comercialmente puro trabajado en frio | H10 | 57,000 | 53,000 | 4 | Endurecimiento por deformación |
| Cu – 35% Zn recocido | OS050 | 47,000 | 15,000 | 62 | Solucion solida |
| Cu – 30% Ni tal como se fabrica | M20 | 55,000 | 20,000 | 45 |
| Cu – 10% Sn recocido | O5035 | 66,000 | 28,000 | 68 |
| Cu – 35% Zn trabajado en frio3 | H10 | 98,000 | 63,000 | 3 | Solucion solida + endurecimiento por deformación |
| Cu – 30% Ni trabajado en frio | H80 | 84,000 | 79,000 | 3 |
| Cu – 2% Be endurecido por envejecimiento | TF00 | 190,000 | 175,000 | 4 | Endurecimiento por envejecimiento |
| Cu – Al templado y revenido | TQ50 | 110,000 | 60,000 | 5 | Reaccion martensítica |
| Manganeso bronce fundido | F | 71,000 | 28,000 | 30 | Reaccion eutectoide |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Designaciones de grado de endurecimiento para aleaciones de cobre** | | |
| Hxx – trabaja en frio (xx indica el grado de trabajo en frio) | | |
|  |  | Reduccion porcentual en espesor o diamoetro |
| H01 | ¼ dura | 10.9 |
| H02 | ½ dura | 20.7 |
| H03 | ¾ dura | 29.4 |
| H04 | Dura | 37.1 |
| H06 | Extradura | 50.1 |
| H08 | De resorte duro | 60.5 |
| H10 | De resorte extra | 68.6 |
| H12 | De resorte especial | 75.1 |
| H14 | De superresorte | 80.3 |
|  |  |  |
| Mxx – tal como se manufactura. (xx se refiere al tippo de proceso de fabricación) | | |
| Oxx – recocida. (xx designa el metodo de recocido) | | |
| OSxxx – recocida para producir un tamaño particular de grano (xxx se refiere al diámetro del grano en 10-3 mm. Por tanto, OS025 señalaria un diámetro de grano de 0.025mm) | | |
| TB00 – tratada por solucion | | |
| TF00 – endurecida por envejecimiento | | |
| TQxx – templada y revenida (xx da detalles del tratamiento termico) | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Serie** | **Tipo de Aleacion** | **Usos** |
| 1000 | 99.00% aluminio puro (no tratable al calor) | Baja resistencia |
| 2000 | Aluminio – cobre (tratable al calor) | Aviación y construccion pesada |
| 3000 | Aluminio – manganeso (no tratable al calor) | Uso general |
| 4000 | Aluminio – silicio (no tratable al calor) | Principalmente cables |
| 5000 | Aluminio – magnesio (con adicion de manganeso en algunas aleaciones) (no tratable al calor) | Aluminio marino (buena resistencia a la corrosion) Aplicaciones estructurales |
| 6000 | Aluminio – magnesio – silicio (tratable al calor) | Aluminio marino (bueno para extrusiones) |
| 7000 | Aluminio – zinc (en su mayoria tratables al calor y unas pocas no tratables al calor) | Donde se requiere alta resistencia (aviación y vehiculos espaciales9 |
| 8000 | Aluminio – barilio, niquel, estaño, titanio | Proposito especiales |
| 9000 | Series inusuales |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Aleaciones de tipo marino populares** | | | | | |
| Aleacion | Tratamiento | Resistencia a la fluencia | Resistencia al corte | Formas disponibles | Usos |
| 5050 | H34  H38 | 24,000  29,000 | 18,000  20,000 | Laminas, planchas, tubos | Cascos pequeños |
| 5052 | H34  H38 | 31,000  37,000 | 21,000  24,000 | Laminas, planchas,varillas, tubos, barras, remaches | Casetas, cascos pequeños |
| 5056 | H18  H38 | 59,000  50,000 | 34,000  32,000 | Laminas, varillas, remaches | Remaches |
| 5083 | H112  H321  H343 | 23,000  33,000  41,000 | 25,000  28,000  30,000 | Laminas, plasnchas, perfiles estirados, forjados | Cascos, cubiertas, mamparas cuadernas maestras |
| 5086 | H112  H32  H34 | 19,000  30,000  37,000 | 23,000  28,000 | Laminas, plasnchas, perfiles estirados, forjados | Cascos soldados, cubiertas, mamparas cuadernas |
| 5454 | H112  H34  H311 | 18,000  35,000  26,000 | 23,000  26,000  23,000 | Laminas, plasnchas, perfiles estirados, forjados | Cascos pequeños, pasamanos |
| 5456 | H24 | 41,000 | 31,000 | Laminas, plasnchas, perfiles estirados, forjados | Cascos soldados |
| 6061 | T4  T6  T8 | 21,000  40,000  52,000 | 24,000  30,000  32,000 | Laminas, plasnchas, perfiles estirados, forjados | Cascos, cubiertas, mastiles, plumas, remaches |
| 6063 | T4  T5  T6 | 13,000  21,000  31,000 | 16,000  17,000  22,000 | Tubos s/c perfiles estirados | Pasamanos, mastiles pequeños, plumas |
| 6066 | T4  T6 | 30,000  52,000 | 29,000  34,000 | Tubos s/c perfiles estirados | Mastiles, plumas |
| 6070 | T6 | 52,000 | 34,000 | Tubos s/c perfiles estirados | Mastiles, plumas |
| 6351 | T4  T6 | 27,000  43,000 | 22,000  29,000 | Tubos s/c perfiles estirados | Cascos cubiertas, cuadernas, mastiles |
| 7001 | T6 | 91,000 |  | Tubos s/c perfiles estirados | Mastiles |
| 7075 | T6 | 73,000 | 48,000 | Varias formas de perfiles | Proposito general, alta resistencia |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Propiedades del cobre y sus aleaciones** | | | |
| **Nombre comun** | **Esfuerzo tenencia (psi)** | **Resistencia a la Tension (Psi)** | **Propiedades** |
| Bronce – aluminio (8% aluminio) | 32.0000 a 65.000 | 70.000 a 105.000 | Excelente corrosion, |
| Bronce – aluminio (5% aluminio) | 22.000 a 65.000 | 55.000 a 92.000 |  |
| Bronce – fosforo (8% tin) | 24.000 a 72.000 | 55.000 a 93.000 |  |
| Bronce – fosforo (5% tin) | 20.000 a 75.000 | 49.000 a 81.000 |  |
| Alumnio – silicon Bronce (7% aluminio, 2% silicio) | Aprox. 42.000 | 84.000 |  |
|  | 22.000 a 58.000 | 57.000 a 94.000 |  |
|  | 15.000 a 55.000 | 40.000 a 70.000 |  |
|  | 10.000 a 58.000 | 37.000 a 67.000 |  |
|  | 18.000 a 70.000 | 48.000 a 90.000 |  |

**Be**

**Si**

**Sn**

**Al**

**Ni**

**Zn**

**40.000**

**30.000**

**20.000**

**10.000**

**0 10 20 30**

**Esfuerzo de fluencia (psi)**

**Porcentaje del elemento de aleacion**

**Fig. Efecto de varios elementos de aleación en el esfuerzo de fluencia del cbre. Los atomos de niquel y de zinc son aproximadamente del mismo tamaño que los atomos de cobre, pero los atomos de berilio y de estaño tienen tamaños muy diferentes a los atomos de cobre. Incrementando tanto la diferencia de tamaño atomico como el elememnto de aleación se incrementa el endurecimiento por solucion solida.**

**1100**

**1000**

**900**

**800**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Cu 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Zn**

**α**

**β**

**β´**

**γ**

**L**

**δ**

**θ**

**ε**

**Peso porcentual de zinc**

**Temperatura (°C)**

**Fig. Diagrama binarios de fases para cobre - zinc**

**1100**

**1000**

**900**

**800**

**700**

**600**

**500**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Cu 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Sn**

**α**

**β**

**η**

**γ**

**L**

**δ**

**θ**

**ε**

**Peso porcentual de estaño**

**Temperatura (°C)**

**Fig. Diagrama binarios de fases para cobre – estaño**

**ζ**

**1000**

**800**

**600**

**400**

**200**

**6 8 10 12 14 16 18**

**9.4 11.2 363° C**

**α + γ2**

**9.4 11.8 15.6**

**565° C**

**α + β**

**β + γ2**

**γ1**

**β**

**γ2**

**16.0**

**α + γ**

**γ**

**γ + γ2**

**α**

**Peso porcentual de aluminio**

**Temperatura (°C)**

**Fig. Porcion eutectoide del diagrama de fases cobre - aluminio**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Material** | **Resistencia a la tension (psi)** | **Esfuerzo de fluencia (psi)** | **Elongacion (%)** | **Aplicaciones** |
| Ni puro (99.9% Ni)  Recocido  Trabajado en frio  Monel 400  (Ni–31.5% Cu) | 50.000  95.000  78.000 | 16.000  90.000  39.000 | 45  4  37 | Resistencia a la corrosión  Válvulas, bombas cambiadores de calor |
| Superaleciones de Ni  Hastelloy B–2  (Ni–28% Mo)  MAR–M246  (Ni–10% Co–9% Cr–10% W+Ti, Al, Ta)  DS–Ni  (Ni–2% ThO2) | 130.000  140.000  71.000 | 60.000  125.000  48.000 | 61  5  14 | Resistencia a la corrosión  Motores de reacción  Turbinas de gas |
| Superaleciones de Fe–Ni  Incoloy 800  (Ni–46% Fe–21% Cr) | 89.000 | 41.000 | 37 | Cambiadores de calor |
| Superaleciones de Co  Haynes 25  (50% Co–20% Cr–15% W-10% Ni)  Estelita 6B  (60% Co–30% Cr–4.5% W) | 135.000  177.000 | 65.000  103.000 | 60  4 | Motores de reacción  Resistencia al desgaste por abrasión. |

**80.000**

**60.000**

**40.000**

**20.000**

**0**

**Cu 20 40 60 80 Ni**

**80**

**60**

**40**

**20**

**Peso porcentual de niquel**

**Resistencia (psi)**

**Elongacion (%)**

**Fig. Propiedades mecanicas de las aleaciones cobre-niquel. El cobre es endurecido con un 60% de Ni y el niquel con un 40% de Cu**

**400**

**300**

**200**

**100**

**0**

**Pb 20 40 60 80 Sn**

**Peso porcentual de estaño**

**Temperatura (°C)**

**Fig. Diagrama de fases en equilibrio plomo-estaño**

**L**

**α+ β**

**α**

**19 183° 61.9 97.5**

**α + L**

**L + β**

**Solidos**

**Liquidos**

**Solidos**

**Liquidos**

**Temperatura (°C)**

**100**

**80**

**60**

**40**

**20**

**0**

**Pb 20 40 60 80 Sn**

**Peso porcentual de estaño**

**8000**

**7000**

**6000**

**5000**

**4000**

**3000**

**2000**

**1000**

**0**

**Pb 20 40 60 80 Sn**

**Resistencia a la tension (psi)**

**Peso porcentual del estaño**

**Se incrementa**

**el eutéctico**

**Endurecimiento por solucion solida**

**Endurecimiento por dispersión por β**

**Endurecimiento por dispersión por α**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Aleaciones de Titanio** | | |
| Tipo | Esfuerzo tenencia | Formas disponibles |
| Ti – 4Al – 4Mn | 133.000 | Formas varias |
| Ti – 5Al – 2.5Sn | 90.000 a 120.0000 | Formas varias (extrusion) |
| Ti – 6Al – 4V | 100.000 a 130.000 | Varillas, |
| Ti – 7Al – 4Mo | 116.000 a 135.000 | Laminas, |
| Ti – 8Mn | 110.000 a 140.000 |  |
| Ti – Titanium  Sn – Tin | Al – Aluminio  V – Vanadio | Mn – Manganeso  Mo – Molibdeno |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Propiedades de algunas aleaciones de Titanio** | | | |
| **Material** | **Resistencia a la tension (psi)** | **Esfuerzo de fluencia (psi)** | **Elongacion (%)** |
| Titanio comercialmente puro 99.5% Ti  99.0% Ti | 35.000  80.000 | 25.000  70.000 | 24  15 |
| Aleaciones Ti alfa  5% Al-2.5% Sn | 125.000 | 113.000 | 15 |
| Aleaciones Ti beta  13% V-11% Cr-3% Al | 187.000 | 176.000 | 5 |
| Aleaciones Ti casi alfa  8% Al-1% Mo-1% V  6% Al-4% Zr-2% Sn-2% Mo | 140.000  146.000 | 120.000  144.000 | 14  3 |
| Aleaciones Ti alfa beta  8% Mn  6% Al-4% V | 140.000  150.000 | 125.000  140.000 | 15  8 |

**Temperatura (°C)**

**1200**

**1000**

**800**

**600**

**400**

**200**

**0**

**Ti 5 10 15**

**Peso porcentual de estaño**

**α**

**β**

**α + β**

**Temperatura (°C)**

**1200**

**1100**

**1000**

**900**

**800**

**700**

**0**

**Ti 5 10 15**

**Peso porcentual de estaño**

**α**

**β**

**α + β**

**β + δ**

**δ**

**α + δ**

**Temperatura (°C)**

**1000**

**900**

**800**

**700**

**600**

**500**

**0**

**Ti 10 20 30**

**Peso porcentual del manganeso**

**α**

**β**

**α + β**

**β + θ**

**α + θ**

**Temperatura (°C)**

**1100**

**1000**

**900**

**800**

**700**

**600**

**0**

**Ti 10 20 30**

**Peso porcentual de molibdeno**

**α**

**β**

**α + β**