4. OTROS MATERIALES

4.1 Cobre y sus aleaciones.

4.1.1 Materiales 408
4.1.2 Propiedades mecánicas 409
4.1.3 Pares de rotura mínimos y de apriete 409
4.1.4 Marcado 409
4.1.5 Kuprodur (CU 5) 409

4.2 Aleaciones de aluminio Sopral.

4.2.1 Materiales 410
4.2.2 Propiedades mecánicas 411
4.2.3 Precargas y pares de apriete 411
4.2.4 Marcado 411
4.2.5 Acabado 411
4.2.6 Resistencia a la corrosión y soldado 411

4.1 COBRE Y SUS ALEACIONES

NORMA
DIN: 8839
ISO: 28839
NF: 267 Parte 18 (W)

Cobre y sus aleaciones. Latón y Kuprodur.

Estas especificaciones se aplican a fijaciones mecánicas (principalmente bulones, tornillos y arandelas) hechas de cobre y aleaciones de cobre con diámetros de rosca hasta 39 mm. inclusive; con rosca métrica (ISO), autorroscantes, y rosca para madera.
Otras fijaciones, como por ejemplo: los remaches, pueden tener propiedades diferentes.

La aleación de cobre de mayor aplicación es el latón cuyas características más interesantes son: alta conductibilidad eléctrica de 15.106 S/m., y una no magneticibilidad de $3 \div 10 \cdot 10^{-6}$ $cm^3 \cdot g^{-1}$.
Por tanto, las fijaciones de latón son muy populares en la industria electrotécnica para cajas de interruptores, transformadores, radio y televisión, antenas, electrodomésticos, etc.

Gracias a su respetable resistencia a la corrosión, este material se utiliza muy a menudo en la fabricación de muebles y trabajos de metal, construcción de barcos, en la industria de bombas y equipos sanitarios, relojería y las industrias ópticas y de equipos médicos. También puede hacerse una selección por el color decorativo el cual puede mejorarse todavía más mediante un cromado o niquelado.

4.1.1 Materiales.

Para las fijaciones mecánicas, la selección puede ser hecha entre 7 tipos de materiales **(ver tabla inferior)**.

Debe tomarse nota que las aleaciones de cobre con un contenido de menos del 85% de cobre y también las de latón, son altamente susceptibles a la corrosión por tensión, que puede producirse bajo trabajo a tracción, particularmente, en una atmósfera conteniendo amoniaco o álcali nitrato.
Este tipo selectivo de corrosión también se llama "enfermedad de maduración", o "dezincado" y puede causar grietas inesperadas en el material, sin deformación.

Para los productos de extrusión en frío frecuentemente es necesario rebajar el coeficiente de resistencia a la tracción si se trabaja entre +250ºC y -300ºC.
Para evitar cualquier riesgo, el acero inoxidable sería técnicamente una alternativa mejor.

Símbolo de identif.	Símbolo de material.		Werkstoff-nummer	Composición química %									de acuerdo con			Designac. comunes
	Nuevo	Viejo		Cu	Zn	Al	Fe	Ni	Pb	Sn	Mn	Si	DIN	ISO	Sistema de numeración unific. (U.S.A.)	
1) CU 1	Cu-ETPorCu-FRHC	E-Cu	2.0060	99,90	–	–	–	–	–	–	–	–	1787	1337	C 11000	cobre
2) CU 2	Cu Zn 37	Ms63	2.0321	62,0 - 64,0	rem.	–	–	–	–	–	–	–	17660	426/1	C27400	latón (conformado en frio)
3) CU 3	Cu Zn39 Pb3	Ms58	2.0401	57,2 - 59,0	rem.	–	–	–	2,5- 3,5	–	–	–	17660	426/2	C38500	latón (torneado)
CU 4	Cu Sn6	Sn Bz6	2.1020	resto	–	–	–	–	–	5,5- 7,0	–	–	17662	427	C51900	bronce al estaño
4) CU 5	Cu Ni1Si	–	2.0853	resto	–	–	–	1,0- 1,6	–	–	–	0,4 -0,7	17666	1187	–	kuprodur
3) CU6	Cu Zn40 Mn1 Pb	Ms 58 Pb	2.0580	57,0 - 59,0	rem.	–	–	–	1,0- 2,0	–	0,4- 1,8		17660	–	C67130	latón (torneado)
CU7	Cu Al10 Ni5 Fe4	Cu Al10 Ni	2.0966	resto	–	8,5 - 11,0	2,0 - 5,0	4,0 - 6,0	–	–	–	–	17665	428	C63000	bronce al alumunio

1) Conductividad eléctrica específica en condiciones suaves 57 ·106 S/m.

2) Fase simple homogénea a-latón. Excelente extrusión en frío, difícil para forja en caliente o mecanizado.

3) Dos fases heterogéneas (a + b) latón. Buena mecanizabilidad; adecuado para forja en caliente, pero difícil para extrusión en frío.

4) ver apartado 4.1.5.

4.1 OBJETO Y ALCANCE

4.1.2 Propiedades mecánicas.

Símbolo de identificac.	Tamaño nominal por encima de	Tamaño nominal hasta, inclusive	Resistencia a la tracción N/mm² mín.	0,2% del lím. elástico N/mm² mín.	Alargamiento en % mín.
CU 1	–	M39	240	160	14
CU 2	–	M6	440	340	11
	M6	M39	370	250	19
CU 3	–	M6	440	340	11
	M6	M39	370	250	19
CU 4	–	M12	470	340	22
	M12	M39	400	200	33
CU 5	–	M39	590	540	12
CU 6	M6	M39	440	180	18
CU 7	M12	M39	640	270	15

Las propiedades mecánicas de bulones y tornillos son comparables con la clase de calidad 4.6 de las fijaciones de acero, y en este respecto son directamente intercambiables. Sin embargo, la elongación y la fuerza al impacto son considerablemente más bajas debido a su conformación en frío; causando roturas, incluso bajo sobrecargas pequeñas y de corta duración. Debido a ello se recomienda emplear acero inoxidable en lugar de latón para cargas dinámicas y de choque.
El latón puede emplearse hasta +175°C ¸200°C, disminuyendo el límite de elasticidad en aprox. 10%.
El latón no puede reforzarse mediante un tratamiento térmico.

4.1.3 Pares de rotura mínimos, y pares de apriete.

Par de rotura mín., en Nm para diámetros hasta el M5, inclusive

Símbolo de identif.	Diámetro nominal M1,6	M2	M2,5	M3	M3,5	M4	M5
CU 1	0,06	0,12	0,24	0,4	0,7	1	2,1
CU 2	0,10	0,21	0,45	0,8	1,3	1,9	3,8
CU 3	0,10	0,21	0,45	0,8	1,3	1,9	3,8
CU 4	0,11	0,23	0,5	0,9	1,4	2	4,1
CU 5	0,14	0,28	0,6	1,1	1,7	2,5	5,1

Los pares de rotura se han calculado de acuerdo con:

$$M_d = \tau \frac{d_s^3}{16}$$

$$\tau = \frac{R_m}{3} \qquad d_s = \frac{d_2 + d_3}{2}$$

M_d = par de rotura Nm.

τ = tensón de torsión máxima admisible, N/mm².

d_s = diámetro de la sección resistente, mm..

d_2 = diámetro nominal efectivo, mm.

d_3 = diámetro nominal menor, mm.

R_m = resistencia a la tracción, , N/mm².

Pares de apriete en Nm para el CU 2 (latón Ms 63)

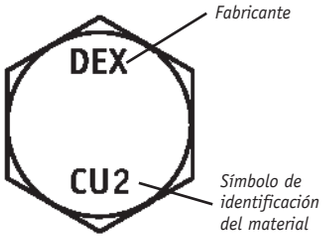
Diámetro nominal	M2	M2,5	M3	M3,5	M4	M5	M6	M8	M10
Par de apriete	0,14	0,29	0,5	0,79	1,2	2,2	3,9	9	17

Estos valores solo son para referencia.

Se deben verificar, si es necesario, en base a ensayos prácticos.

4.1.4 Marcado.

El marcado es garantía de calidad.



Los tornillos de cabeza hexagonal, las tuercas, y tornillos de cabeza ranurada hechos de cobre o aleaciones de cobre con rosca métrica desde M5, deben marcarse con el símbolo de identificación del material y la marca de origen tal como consta en el dibujo a la izquierda.
En esta categoría de metal, una indicación de clase de calidades, como es habitual para los tornillos de acero y acero inoxidable, no existe.
Las tuercas pueden marcarse en una de sus caras y en los planos del hexagonal.
Todas las demás fijaciones no se marcarán generalmente a no ser que exista un acuerdo para hacerlo.

4.1.5 Kuprodur (CU 5).

Para la composición química y las propiedades mecánicas ver apartados anteriores.

El Kuprodur es una aleación de cobre, níquel, silicona con un 98% de cobre y las siguientes propiedades:

- Esta aleación puede someterse a un tratamiento térmico obteniendo buenas propiedades mecánicas, las cuales, incluso, aumentan a bajas temperaturas, es decir la resistencia a la elongación e impacto a -60°C es un 25% mayor aprox.
- Resistente a la temperatura hasta +250°C. Bajo una carga constante debe tenerse en cuenta una considerable relajación respecto al flujo.
- Alta conductibilidad eléctrica = 18 · 10^{-6} S/m.
- No magnetizable = 0,066 · 10^{-6} cm^3 · g-1.
- No susceptible a la corrosión por estrés y muy resistente a muchos ácidos, álcalis, agua del mar e influencias atmosféricas. Comparables con el cobre puro.

El Kuprodur, por tanto, es muchas veces empleado en centrales nucleares, en tratamientos con agua, construcción de barcos, técnicas de bajas temperaturas, industrias electrotécnicas y de equipos químicos.

Precargas en N, y pares de apriete en Nm, con un coeficiente de rozamiento medio de 0,125

Diámetro nominal	M5	M6	M8	M10	M12	M16
Precarga N	5550	7800	14300	22800	33400	63000
Par de apriete Nm	4,7	8	19	39	67	165

Estos valores son aplicables a fijaciones hechas en cobre.

4.2 ALEACIONES DE ALUMINIO SOPRAL

Estas especificaciones son aplicables a fijaciones mecánicas (principalmente pernos, tornillos, tuercas y arandelas hechas de aleaciones de aluminio de la marca comercial del fabricante SOPRAL.
Esta información contiene datos del fabricante no teniendo relación con DIN 267, parte18.
El muy extenso campo de aplicaciones puede derivarse de las siguientes características específicas:

- Altas propiedades mecánicas; el SOPRAL 60 es aproximadamente comparable con la clase de propiedades de acero 5.8 y la clase de propiedades de acero inoxidable 50 y aproximadamente 35% más fuerte que el latón. Por lo tanto, es muy adecuado para las uniones estructurales de aluminio.

- Peso ligero, una tercera parte del peso de acero y acero inoxidable, que aparte de su uso en la industria de la aviación y espacio adquiere cada vez más importancia en la industria del vehículo y transporte, construcción de barcos, etc.

- Resistencia a la corrosión; adecuado entre otros en ambientes de mar y por tanto adecuado para muchas aplicaciones marítimas.

- Muy resistente a temperaturas extremadamente bajas. Las propiedades mecánicas incluso aumentan a -196ºC lo cual es muy atractivo en la industria criogénica.

- Bbuena conductividad térmica (13 veces mayor que el acero inoxidable, 4 veces mayor que el acero y 60% de cobre). Aplicable en la industria de intercambiadores térmicos, aire acondicionado, radiadores, etc.

- La conductibilidad eléctrica en base de pesos iguales es el doble de cobre. También por su no-magnetizabilidad este material se utiliza muy frecuentemente en la industria eléctrica.

- Color decorativo que puede variarse mediante capas anódicas. Junto con una alta reflectividad estas propiedades encuentran aplicación en edificios y en alumbrados, telecomunicaciones y en la industria de decoración en general.

- Atóxico y por tanto idóneo en instalaciones y equipos en las industrias agrarias y alimenticias.

4.2.1 Materiales.

En nuestro programa de suministros tenemos 6 tipos de SOPRAL en almacén.

SOPRAL P40. Esta es una aleación aluminio-magnesio-silicona para pernos, tornillos y tuercas para aplicaciones generales que no requiere altas propiedades mecánicas pero si una óptima resistencia a la corrosión.

SOPRAL P60. Esta aleación de aluminio-zinc-magnesio para pernos, tornillos, tuercas y arandelas de muelle; tiene mayores propiedades mecánicas con una bien equilibrada resistencia a la corrosión. Es el tipo preferido para pernos y tuercas que transmiten cargas en uniones estructurales de aluminio.
Se emplea este tipo, frecuentemente, en centrales eléctricas y sistemas eléctricos de transporte, y cumple con el reglamento estricto de la especificación técnica francesa No. 15-Se-565 (1983) de EDF (Electricité de France).

SOPRAL P65. Es similar a la aleación P60 pero algo más fuerte, se usa exclusivamente para tornillos.

SOPRAL A-G3M. Es una aleación de aluminio-magnesio para arandelas que en combinación con P60 debe usarse para tuercas.

SOPRAL A5. Aluminio puro con un 99% de aluminio se emplea para arandelas de uso general.

2030 (Dural). Es una calidad de aluminio para las dimensiones pequeñas de tuercas M3, M4 y M5.

Composición química

Tipo de aleación	Tratamiento térmico	Composición química %								Designaciones correspondientes				
										Alemania		Sistema de numeración unificado (U.S.A.)	Francia	
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al	nº Material	DIN		Nuevo	Viejo
SOPRAL P40	T8	0,3-0,7	0,5	0,1	0,03	0,35-0,8	–	0,1	rem.	3.3207	Al Mg Si 0,5	6101		A-GS
SOPRAL P60	T73	0,4	0,5	1,2-2	0,3	2,1-2,9	–	5,1-6,1	rem.	3.4365	Al Zn Mg Cu 1,5	7075		A-Z5GU
SOPRAL P65	T6													
SOPRAL A-G3M	H26	0,4	0,5	0,1	0,1-0,5	2,6-3,6	0,1	0,2	rem.	3.3535	Al Mg3	5754		A-G3M
SOPRAL A5	–	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	–	0,05	rem.	3.0255	AAL 99,5	1050A		A5
2030 (Dural)	–	–	–	3,5-4,5	–	0,5-1,3	Pb 0,8-1,5		rem.	3.1645	AlCuMgPb	2030		A-U4Pb

4.2 ALEACIONES DE ALUMINIO SOPRAL

4.2.2 Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas pueden variar según la talla.

Tipo de aleación	Resistencia a la tracción N/mm²	0,2% límite elástico N/mm²	Alargam. %	Dureza Brinell[1] HB	Módulo[2] de elastic. N/mm²
SOPRAL P40	300-350	260-300	8-10	95-105	67.000
SOPRAL P60	490-560	420-480	11-15	154-169	72.000
SOPRAL P65	550-600	490-530	12-15	160-180	72.000
SOPRAL A-G3M	min. 200	–	–	–	71.000
SOPRAL A5	min. 100	–	–	–	69.000
2030 (Dural)	min. 390	–	–	–	–

1) La dureza Brinell es solo como referencia y se utiliza como una manera fácil para distinguir entre dos tipos de aleaciones de aluminio.

2) Estos valores son el promedio entre el módulo de resistencia y el de compresión.

4.2.2.1 Propiedades físicas.

Tipo de aleación	Peso específ. g/cm³	Resistencia eléctrica a 20ºC Ohm mm²/m	Conductividad térmica a 20ºC th cm²/ms ºC	Coeficiente de dilatac. lineal entre 20ºC y 100ºC	Punto de fusión ºC
SOPRAL P40	2,7	0,0325	0,44	23 x 10-6	615-655
SOPRAL P60	2,8	0,055	0,29	27,5 x 10-6	475-635
SOPRAL P65	2,8	0,61	0,29	23,5 x 10-6	475-635

4.2.3 Precargas y pares de apriete.

(Ver tabla inferior). Estos pares de apriete están basados en un coeficiente de rozamiento de 0,05.
Es preferible ajustar el par sobre el valor mínimo con una llave dinamométrica.
No deben sobrepasarse nunca los valores máx.
Esta tabla solamente sirve de referencia y no supone ninguna garantía.

4.2.4 Marcado.

El tornillo hexagonal - calidad SOPRAL P60 - está marcado en la parte superior con la marca del fabricante S para SOPRAL y la combinación de dígitos: 3.7.
El primer digito, 3, identifica el tratamiento térmico especial T 73.
El segundo dígito, 7, identifica que la calidad P60 está fabricada de la aleación de aluminio 7075.

Este marcado corresponde a las especificaciones de la EDF (Electricité de France).
Todas las demás fijaciones de aluminio no están marcadas.

4.2.5 Acabado.

Tratamiento de superficie y color
El SOPRAL P40, para uso normal, se suministra sin tratamiento. El color es plata-blanco.
A petición, estas fijaciones pueden ser decapadas y engrasadas con lanolina para un montaje y desmontaje más fácil, o anodizadas y engrasadas con lanolina para condiciones difíciles de uso, o anodizarse de color para la decoración.

El SOPRAL P60 es anodizado (espesor de capa: 8-12 micras), bicromado e impregnado de grasa de acuerdo con las especificaciones de la EDF. En estas condiciones se obtiene una resistencia óptima a la corrosión y un fácil montaje. En caso de fuertes cargas dinámicas se aconseja pedir el P60 sin la impregnación de grasa. El color es amarillo.

El SOPRAL 65 se suministra anodizado sin color. Para fines decorativos los tornillos se aclaran químicamente y/o anodizan con colores.

4.2.6 Resistencia a la corrosión y soldadura.

Debido a la restauración automática de una capa fina de autoprotección de óxido de aluminio, las calidades SOPRAL ofrecen una resistencia efectiva, hasta excelente, al ataque por la atmósfera, ambiente industrial y agua del mar.
En este sentido la P40 es la más favorable.
La mayoría de productos químicos no tienen ningún efecto. Sin embargo, las bases fuertes con un pH >10, es decir sodio y potasio, y ácidos concentrados con un pH <4, es decir ácidos clorhídricos y sulfúricos, deben evitarse.
El SORAL P60 ha sido sometido a un tratamiento térmico especial T 73, proporcionando una resistencia óptima a la corrosión intergranular y estrés en ambientes agresivos y haciéndolo inmune a la exfoliación, tipo corrosión.
Cuando el aluminio, en presencia de un líquido conductor, entra en contacto con otro metal más electropositivo, es decir, acero, acero inoxidable, cobre, éste corroerá. Por otro lado, cuando está en contacto con metales más electronegativos, es decir magnesio, zinc, etc. entonces estos corroerán y protegerán así el aluminio.
Para evitar una corrosión de contacto se recomienda emplear fijaciones de aluminio en construcciones de aluminio.

Soldadura
Les aconsejamos, estrictamente, no efectuar soldaduras en pernos y tuercas P60 y P65. La generación de calor durante la soldadura tiene el efecto de destrozar total o parcialmente las propiedades mecánicas adquiridas durante el tratamiento térmico.
El SOPRAL P40 puede soldarse empleando todos los métodos normales.

Diámetro nominal			M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27
Precarga N	SOPRAL P60						8000	14000	21000	40000	62000	100.000	130.000
Par de apriete Nm	SOPRAL P40	mín.	–	0,9	1,6	2,7	7,5	14	28	–	–	–	–
		máx.	–	1,1	1,9	3,3	8	17	32	–	–	–	–
	SOPRAL P60	mín.	–	–	–	–	8	15	30	65	110	200	300
		máx.	–	–	–	–	10	20	40	90	150	280	400
	SOPRAL P65	mín.	0,5	1,3	2,5	4,4	11	–	–	–	–	–	–
		máx.	0,6	3,16	3	5	12,5	–	–	–	–	–	–