



Máquinas Eléctricas Rotativas

Los materiales utilizados en una máquina eléctrica pueden agruparse en:

- 1) Materiales magnéticamente blandos
- 2) **Materiales conductores eléctricos**
- 3) **Materiales aislantes**
- 4) Imanes permanentes



1) Materiales magnéticamente blandos

Forman el circuito magnético de la ME

↑ Permeabilidad (μ)

↑ Saturación (B_{sat})

↓ Pérdidas en el Hierro (Histéresis + parásitas + Adicionales)

2) **Materiales conductores eléctricos**

Forman el circuito eléctrico de la ME

↓ Resistividad eléctrica (ρ)

3) **Materiales aislantes**

Garantizan las trayectorias de las corriente (A-V): conductor-conductor-masa-tierra

↑ Permitividad eléctrica (ϵ)

↑ Conductividad térmica (λ)

4) **Imanes permanentes**

Forman el inductor en sustitución de los electroimanes para obtener **B**

CONSIDERACIONES ECONÓMICAS: COMPORTAMIENTO/APPLICACION



Magnetic, electrical, and insulation materials are characterized by their:

characteristics (B(H) curve,

The flux density (B)/magnetic field (H) curve and cycle depend on the soft material composition and fabrication process.

Their losses in W/kg depend on the B-H hysteresis cycle, frequency, electrical resistivity, and the a.c. (or) traveling field penetration into the soft magnetic material.

electrical resistivity,

Silicon steel sheets are standard soft magnetic materials amorphous soft powder materials have been introduced recently with some potential for high frequency

The pure copper is the favorite material for the stator electric circuit (windings), while aluminum or brass is used for rotor squirrel cage windings.

dielectric constant, and breakdown electric field (V/m)) and their losses.

At frequencies (up to tens of kHz, when PWM inverter fed), the insulation losses are neglected.



Materiales magnéticamente blandos

Caracterización:

Permeabilidad relativa ($\mu_r = \mu_{abs} / \mu_o$)

Curva de magnetización (C.C.)

Curva normal/Ciclo de histéresis (C.A.)

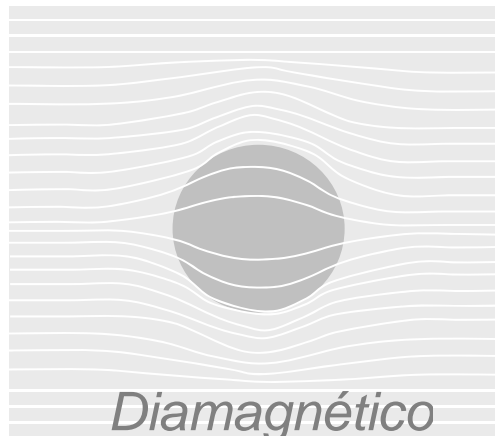
Pérdidas en el hierro (W/kg)



Materiales magnéticamente blandos

Caracterización: **Permeabilidad relativa** ($\mu_r = \mu_{abs} / \mu_o$)

$$\mu_o = 4 \pi 10^{-7} \text{ H/m}$$



Diamagnético

$$\mu_r \leq 1$$

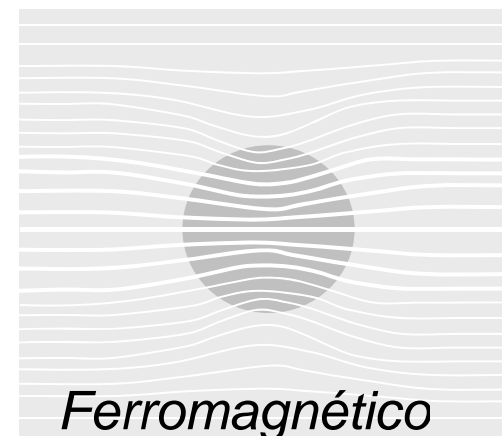
Plata
Cobre
Plomo
Bismuto
Agua



Paramagnético

$$\mu_r \geq 1$$

Aluminio
Aire
Paladio



Ferromagnético

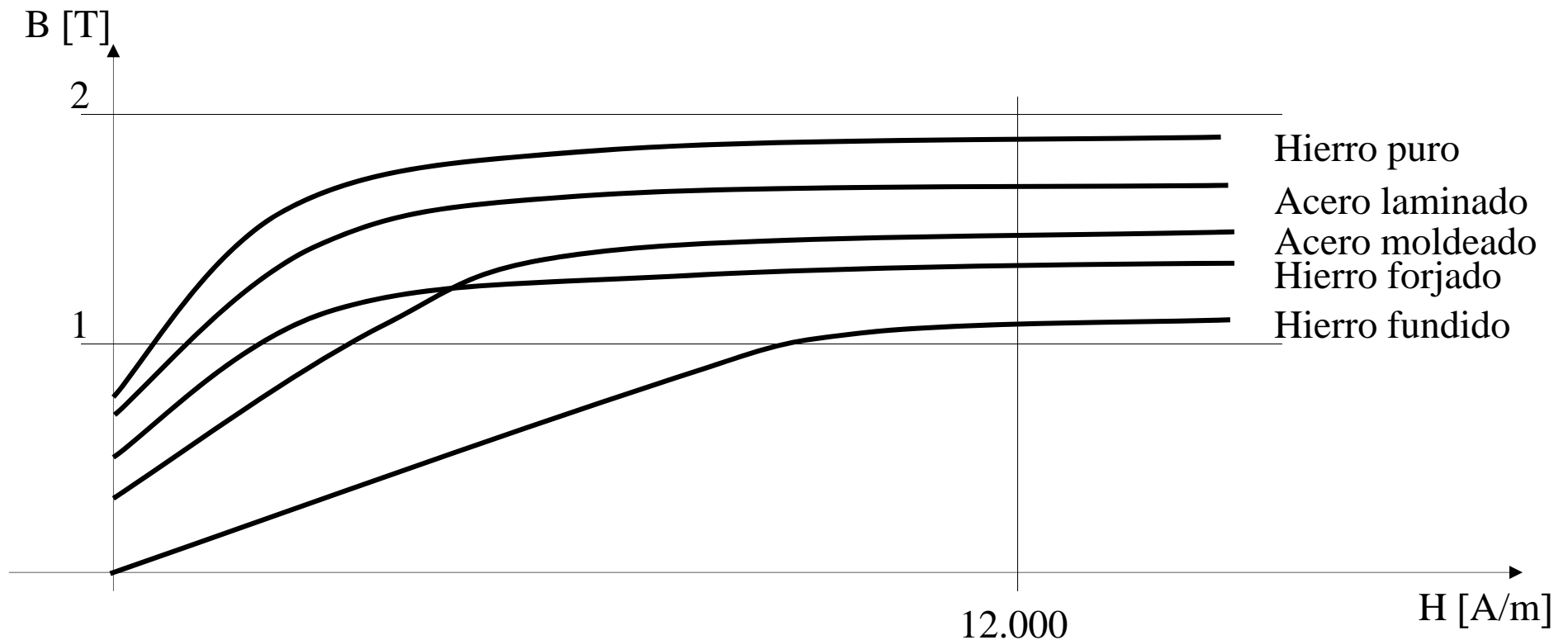
$$\mu_r \gg 1 \text{ (no lineal B-H)}$$

Cobalto
Niquel
Hierro
Tierras raras



Materiales magnéticamente blandos

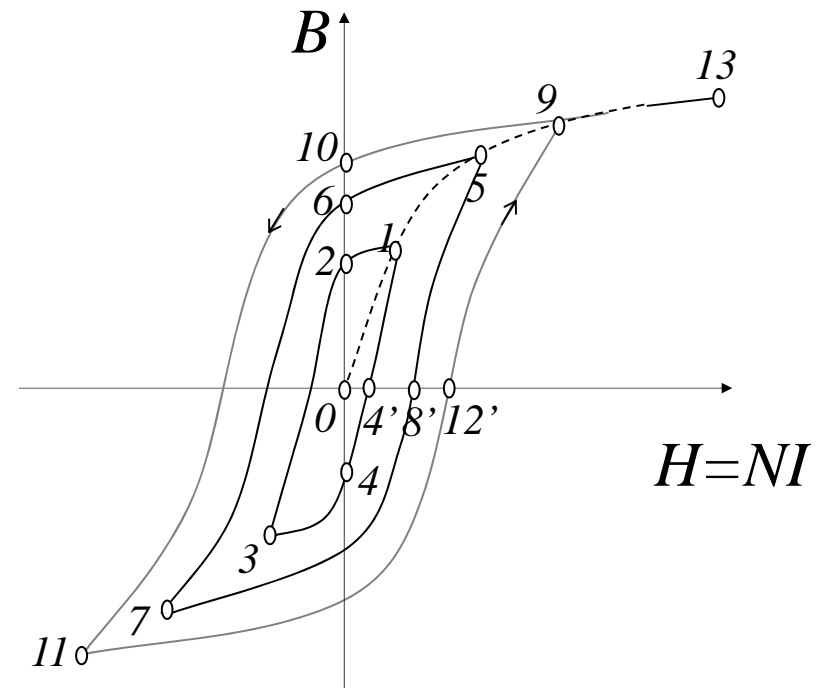
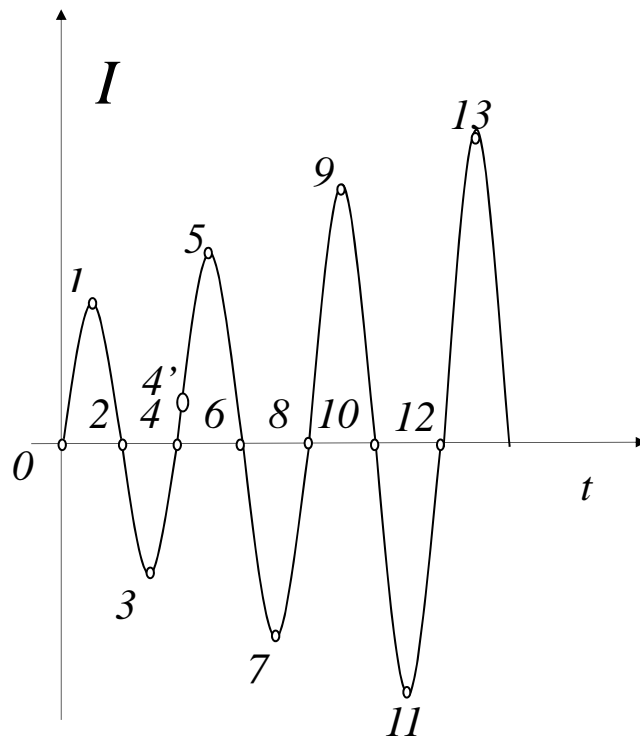
Caracterización: **Curva de magnetización (C.C.)**





Materiales magnéticamente blandos

Caracterización: **Curva normal/Ciclo de histéresis (C.A.)**



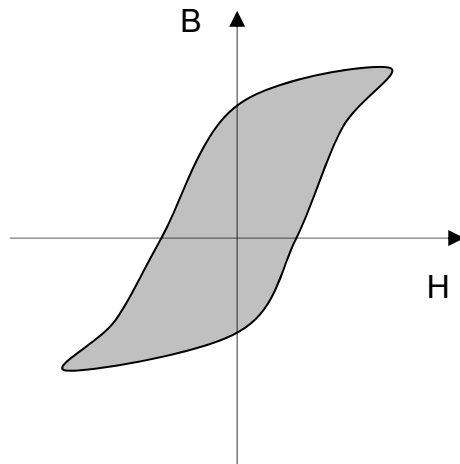


Materiales magnéticamente blandos

Caracterización: **Pérdidas en el hierro (W/kg)**

Un material magnético sometido a un campo de magnetización **alterno** es el responsable de la aparición de las **pérdidas en el hierro**. Tradicionalmente: histéresis y corrientes parásitas.

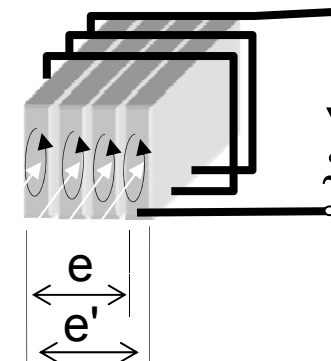
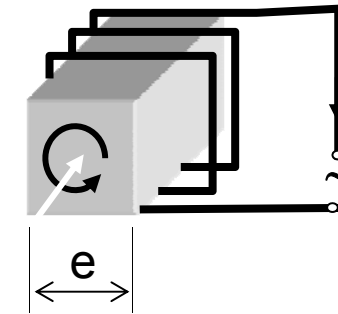
$$P_H = k_H f (B_m)^2 \text{ W/kg}$$



$$P_F = k_F (f B_m e)^2 \sigma \text{ W/kg}$$

Factor de apilamiento: K

$$e = K e'$$





Materiales magnéticamente blandos

Caracterización: **Pérdidas en el hierro (W/kg)**

Un material magnético sometido a un campo de magnetización **alterno** es el responsable de la aparición de las **pérdidas en el hierro**. Tradicionalmente: histéresis y corrientes parásitas.

Hierro dulce

Hierro aleado con silicio

Acero (Chapa magnética)

Metales amorfos (Chapa magnética)



Materiales magnéticamente blandos

Caracterización: **Pérdidas en el hierro (W/kg)**

Hierro dulce

El hierro dulce empleado en los circuitos magnéticos de la ME, debe presentar:

- Alta permeabilidad (**para reducir la reluctancia del circuito**)
- Alto valor de saturación (**para reducir el volumen y el peso del hierro empleado en el circuito**)
- Bajas pérdidas en el hierro (**para no perjudicar a al rendimiento ni elevar la temperatura**)



Materiales magnéticamente blandos

Caracterización: **Pérdidas en el hierro (W/kg)**

Hierro dulce

Todas estas propiedades son prácticamente imposible de alcanzar en un único material, ya que entran en juego aspectos químicos, mecánicos, y térmicos. Todos aspectos conflictivos a la hora de pretender:

- Disminución de pérdidas en el hierro

Corrientes parásitas: ↑ Si ; ↓ Tamaño de grano ; ↓ espesor de material

Histéresis: ↑ Densidad ; ↓ impurezas ; ↑ Tamaño de grano

- Alta permeabilidad

↓ Contenido Si ; ↓ impurezas ; ↓ Tamaño de grano



Materiales magnéticamente blandos

Caracterización: **Pérdidas en el hierro (W/kg)**

Hierro aleado con silicio

La aleación de Si, mejora propiedades, tales como:

- Incremento de la resistividad eléctrica.
- Disminución del campo coercitivo.
- Mejora la estabilidad del hierro a lo largo del tiempo.



Materiales magnéticamente blandos

Caracterización: **Pérdidas en el hierro (W/kg)**

Hierro aleado con silicio

Sin embargo la aleación de **Si** implica:

- Disminución de la ductilidad (mas quebradizo).
Esto minimiza el porcentaje entre un 3,4 - 2,2%.
- A pesar de que el Si es muy barato,
el hierro aleado se encarece debido al proceso de aleación
por aspectos mecánicas y térmicas.

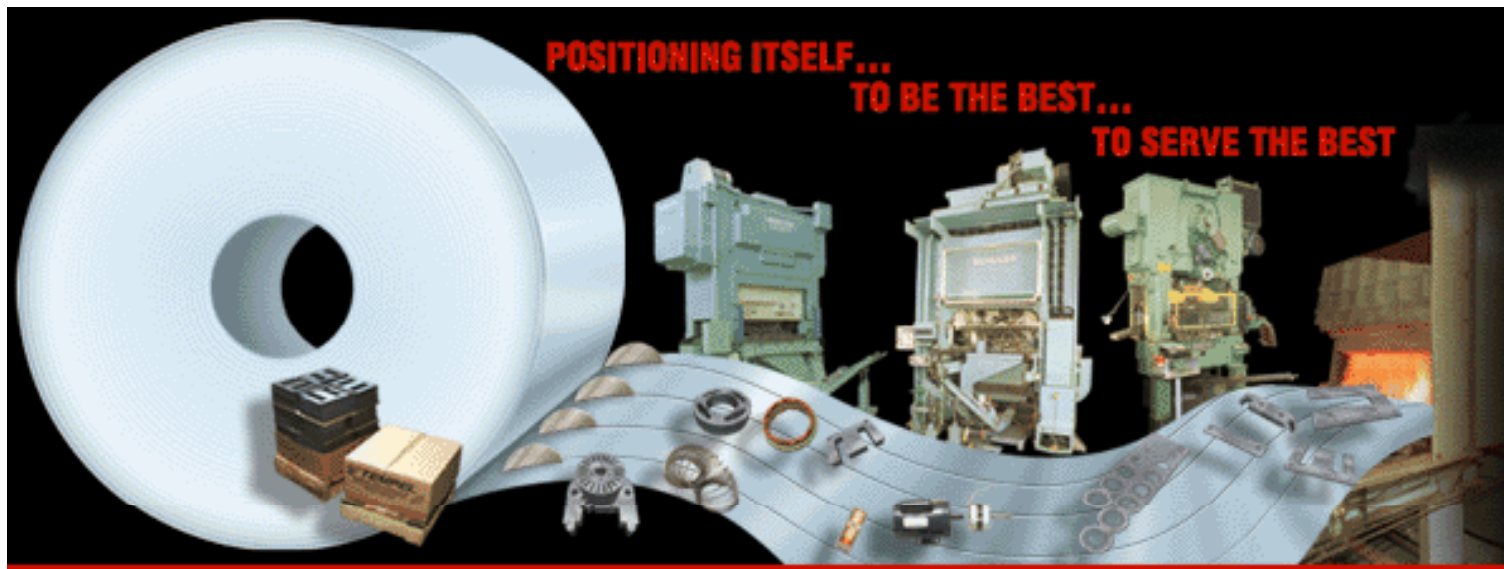


Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética)

0 – 3% Si

- Chapa de grano no orientado
- Chapa de grano orientado





Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética)

$$\text{Coeficiente de apilamiento} = \frac{\text{Volumen neto de las chapas}}{\text{Volumen bruto de las chapas bajo una presión determinada}}$$

Factor de apilamiento de núcleos magnéticos

Espesor de chapa (mm)	Factor de apilamiento
0.0127	0.50
0.0254	0.75
0.0508	0.85
0.1 – 0.25	0.90
0.27 – 0.36	0.95



Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética) 0 – 3% Si

- Chapa de grano no orientado

Se suele fabricar en bobinas de 1,3 m de ancho y 0,35 -0,8 mm de grueso

Se suele fabricar con una película de recubrimiento aislante:
Evita el contacto eléctrico y la corrosión.

Puede estar **PROCESADA** preparada para estampar.

Los grosores estandares son de **0,5** y **0,65 mm** que a 1,5 T y 50 Hz presenta unas pérdidas de: **4,55 - 5,5** y **6 - 7,1 W/kg**

Puede ser **SEMIPROCESADA**. Una vez estampado debe someterse a tratamiento térmico (800 - 850 °C) para alcanzar sus propiedades magnéticas

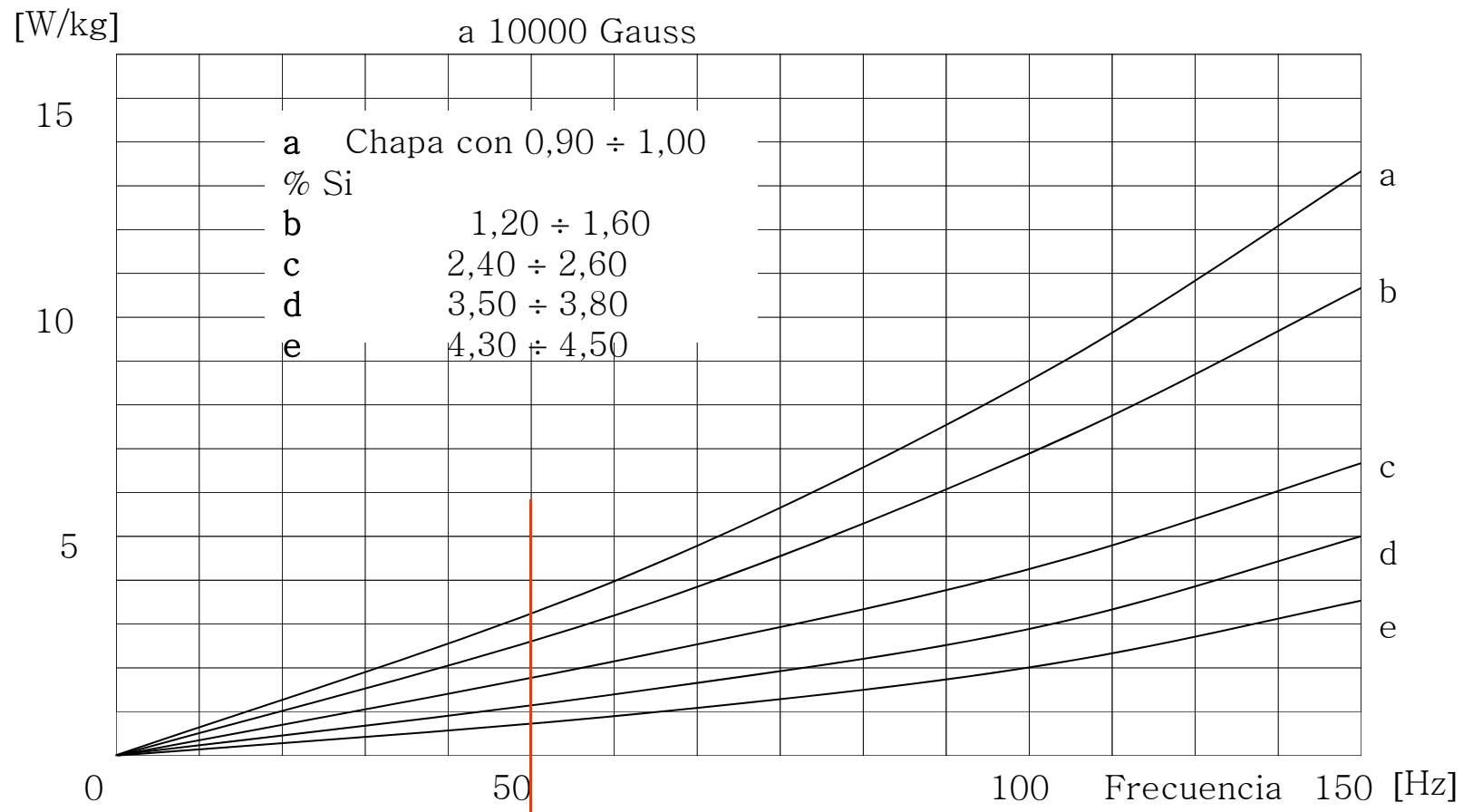
Los espesores estándares son de **0,35** , **0,5** y **0,65 mm** que a 1,5 T y 50 Hz presenta unas pérdidas de: **3** , **4** y **8 W/kg**



Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética) 0 – 3% Si

- Chapa de grano no orientado





Acero (Chapa magnética) 0 – 3% Si

- Chapa de grano orientado

Es suministrado totalmente procesado de anchos: 20-900 mm

Espesor: 0,27, 0,3 y 0,35 mm

Es más elaborado

Más caro

No se utiliza en motores estándares

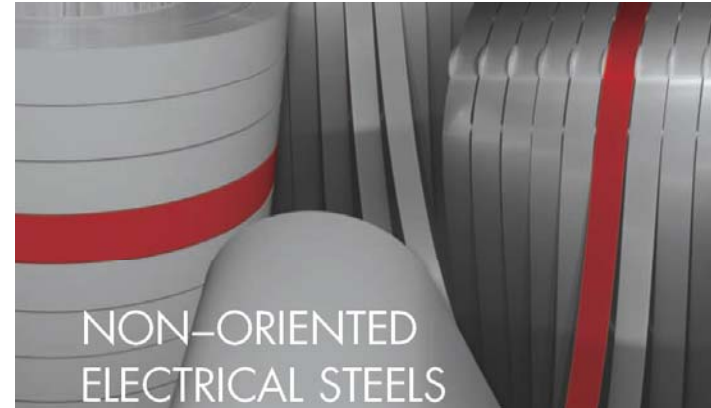


Materiales magnéticamente blandos

ACRONI: www.acroni.si

▶ Catalogo ACRONI

Non-oriented electrical



Non-oriented electrical steels have special physical properties which make them suitable for application in the manufacture of electric equipment and appliances with rotating magnetic fields. The utilisation of fully processed steels is also widespread for construction of electrical static devices.

Cold rolled fully processed electrical steel - Dinamo

Cold rolled semi-processed electrical steel - ELMAG (non alloyed)

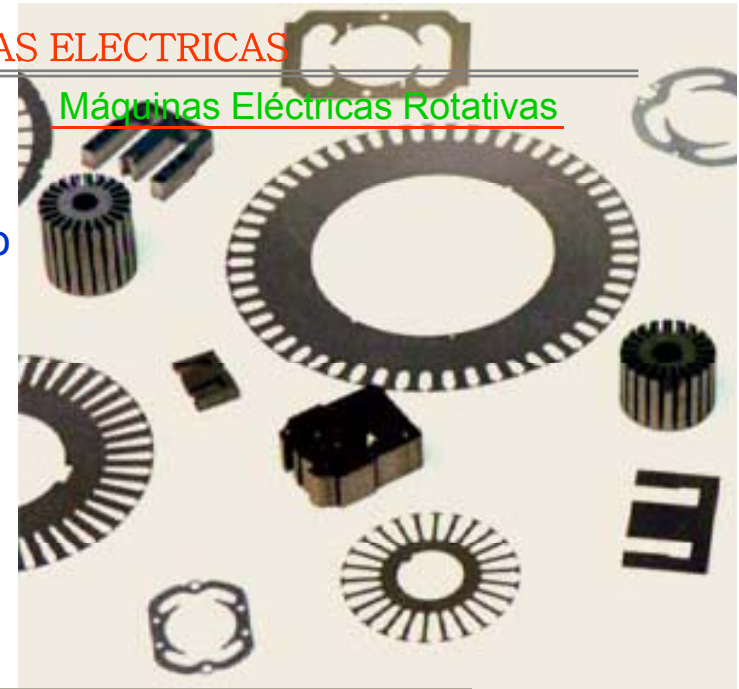
Cold rolled semi-processed electrical steel - ELMAG (alloyed)



Materiales magnéticamente blandos Acero (Chapa magnética) Chapa de grano no orientado

Cold rolled fully processed electrical steel - Dinamo

DINAMO steels are cold rolled fully processed electrical steels. They may be delivered without insulation or insulated on both sides with coating in order to achieve desired properties for various fields of application (higher surface insulation resistance, improvement of punchability and corrosion resistance).



Electrical steel **ACRONI**

Electromagnetic properties

ACRONI Grade	Nominal thickness (mm)	Specific total loss ^{1),3)} (max.)		Magnetic polarisation (min.) for a field strength of A/m ³⁾			Stacking factor (min.)	Density (kg/dm ³)
		at 1.5T (W/kg)	at 1T ²⁾ (W/kg)	2500 (T)	5000 (T)	10000 (T)		
S660T50	0,50	6,60	2,80	1,62	1,70	1,79	0,97	7,85
S800T65	0,65	8,00	3,30	1,62	1,70	1,79	0,97	7,85

1. In accordance with IEC 404-8-3 or EN 10126 (for ELMAG grades) and IEC 404-8-2 or EN 10165 (for ELMAG-Si grades), the values are specified and guaranteed for a magnetic polarization of 1.5T unless otherwise agreed
2. These are only informative values
3. Valid for testing in A.C. field in the 25cm Epstein frame according to IEC 404-2
4. These values are valid only for test specimens in the reference condition in accordance with IEC 404-8-3 or EN 10126 (for ELMAG grades) and IEC 404-8-2 or EN 10165 (for ELMAG-Si grades)



Materiales magnéticamente blandos



Insulation coatings

Cold rolled fully processed electrical steel - Dinamo

Type of insulation	L1	L2	L3	L4
AISI designation	C-6	C - 3	C - 3, C - 5	C - 5
Thermal class (IEC 60085)	H	H	H	H
Coated on	BOTH SIDES	BOTH SIDES	BOTH SIDES	BOTH SIDES
Thickness of layer on each side (µm) (ISO 2808)	3 to 6	0,5 to 3	up to 1	0,2 to 1, 1 to 3
Composition	ORGANIC WITH PIGMENTS	ORGANIC WITH PIGMENTS	ORGANIC/INORGANIC	ORGANIC/INORGANIC
Surface insulation resistance ¹ (Ohm cm ²) (ASTM A717)	40 to > 100	1 to 15	up to 10	0,5 to 6, 5 to 40
Heat resistance	180 ⁰ C ²)	180 ⁰ C ²)	820 ⁰ C ³)	820 ⁰ C ³)
Influence on punchability	FAVOURABLE	VERY FAVOURABLE	VERY FAVOURABLE	FAVOURABLE
Influence on weldability	CONDITIONAL	CONDITIONAL	EXCELLENT	EXCELLENT
Resistance ⁴ to mediums	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD
Colour ⁵)	LIGHT GREY TO DARK GREY ⁵)	WATERY YELLOW TO BROWN-YELLOW ⁶)	LIGHT GREY	COLOURLESS LIGHT GREY ⁶)

1. Surface insulation resistance depends on coating thickness
2. In air long time (testing for 20000 hours at a given temperature in accordance with IEC 65-1984)
3. In protective gas atmosphere (as stress-relief annealing)
4. It relates to the resistance to the most of different lubricants, refrigerating mediums and oils. The varnish producer tests the resistance to the specific medium only after the customer's requirement
5. Colour shades depend on the coating thickness and type of varnish employed
6. With pigments

Acroni - Micro Edición

Atrás

Edición <http://>



Materiales magnéticamente blandos

Chapa de grano no orientado

Cold rolled semi-processed electrical steel - ELMAG (non alloyed)



Electromagnetic properties

ACRONI Grade	Nominal thickness (mm)	Specific total loss ^{1),3)} (max.)		Magnetic polarisation (min.) for a field strength of A/m ³⁾			Stacking factor (min.)	Density (kg/dm ³)	Designation in EN 10106 (1995)
		at 1.5T (W/kg)	at 1T ²⁾ (W/kg)	2500 (T)	5000 (T)	10000 (T)			
F330T35	0,35	3,30	1,30	1,49	1,60	1,70	0,97	7,65	M330-35A
F330T50	0,50	3,30	1,35	1,49	1,60	1,70	0,97	7,65	M330-50A
F350T50	0,50	3,50	1,50	1,50	1,60	1,70	0,97	7,65	M350-50A
F400T50	0,50	4,00	1,70	1,53	1,63	1,73	0,97	7,70	M400-50A
F470T50	0,50	4,70	2,00	1,54	1,64	1,74	0,97	7,70	M470-50A
F530T50	0,50	5,30	2,30	1,56	1,65	1,75	0,97	7,75	M530-50A
F600T50	0,50	6,00	2,60	1,57	1,66	1,76	0,97	7,75	M600-50A
F700T50	0,50	7,00	3,00	1,60	1,69	1,77	0,97	7,80	M700-50A
F800T50	0,50	8,00	3,60	1,60	1,70	1,78	0,97	7,80	M800-50A
F400T65	0,65	4,00	1,70	1,52	1,62	1,72	0,97	7,65	M400-65A
F470T65	0,65	4,70	2,00	1,53	1,63	1,73	0,97	7,70	M470-65A
F530T65	0,65	5,30	2,30	1,54	1,64	1,74	0,97	7,70	M530-65A
F600T65	0,65	6,00	2,60	1,56	1,66	1,76	0,97	7,75	M600-65A
F700T65	0,65	7,00	3,00	1,57	1,67	1,76	0,97	7,75	M700-65A
F800T65	0,65	8,00	3,60	1,60	1,70	1,78	0,97	7,80	M800-65A

1. In accordance with IEC 60404-8-4 or EN 10106, the values are specified and guaranteed for magnetic polarization 1.5T unless otherwise agreed
2. These are only informative values
3. Valid for testing in A.C. field in the 25cm Epstein frame according to IEC 60404-2



Materiales magnéticamente blandos

Cold rolled semi-processed electrical steel - ELMAG-Si (alloyed)

Acero (Chapa magnética)

- Chapa de grano orientado

Electrical steel **ACRONI**

Electromagnetic properties

ACRONI Grade	Nominal thickness (mm)	Specific total loss ^{1),3)} (max.)		Magnetic polarisation (min.) for a field strength of A/m ³⁾			Stacking factor (min.)	Density (kg/dm ³)	Designation in EN 10126 (1995)
		at 1.5T (W/kg)	at 1T ²⁾ (W/kg)	2500 (T)	5000 (T)	10000 (T)			
SSI340T50	0,50	3,40	1,40	1,54	1,62	1,72	0,97	7,70	M340-50E
SSI390T50	0,50	3,90	1,60	1,56	1,64	1,74	0,97	7,75	M390-50E
SSI450T50	0,50	4,50	1,90	1,57	1,65	1,75	0,97	7,75	M450-50E
SSI560T50	0,50	5,60	2,40	1,58	1,66	1,76	0,97	7,80	M560-50E
SSI390T65	0,65	3,90	1,60	1,54	1,62	1,72	0,97	7,70	M390-65E
SSI450T65	0,65	4,50	1,90	1,56	1,64	1,74	0,97	7,70	M450-65E
SSI520T65	0,65	5,20	2,20	1,57	1,65	1,75	0,97	7,75	M520-65E
SSI630T65	0,65	6,30	2,70	1,58	1,66	1,76	0,97	7,80	M630-65E

1. In accordance with IEC 60404-8-3 or EN 10126 (for ELMAG grades) and IEC 60404-8-2 or EN 10165 (for ELMAG-Si grades), the values are specified and guaranteed at magnetic polarization 1.5T unless otherwise agreed

2. These are only informative values

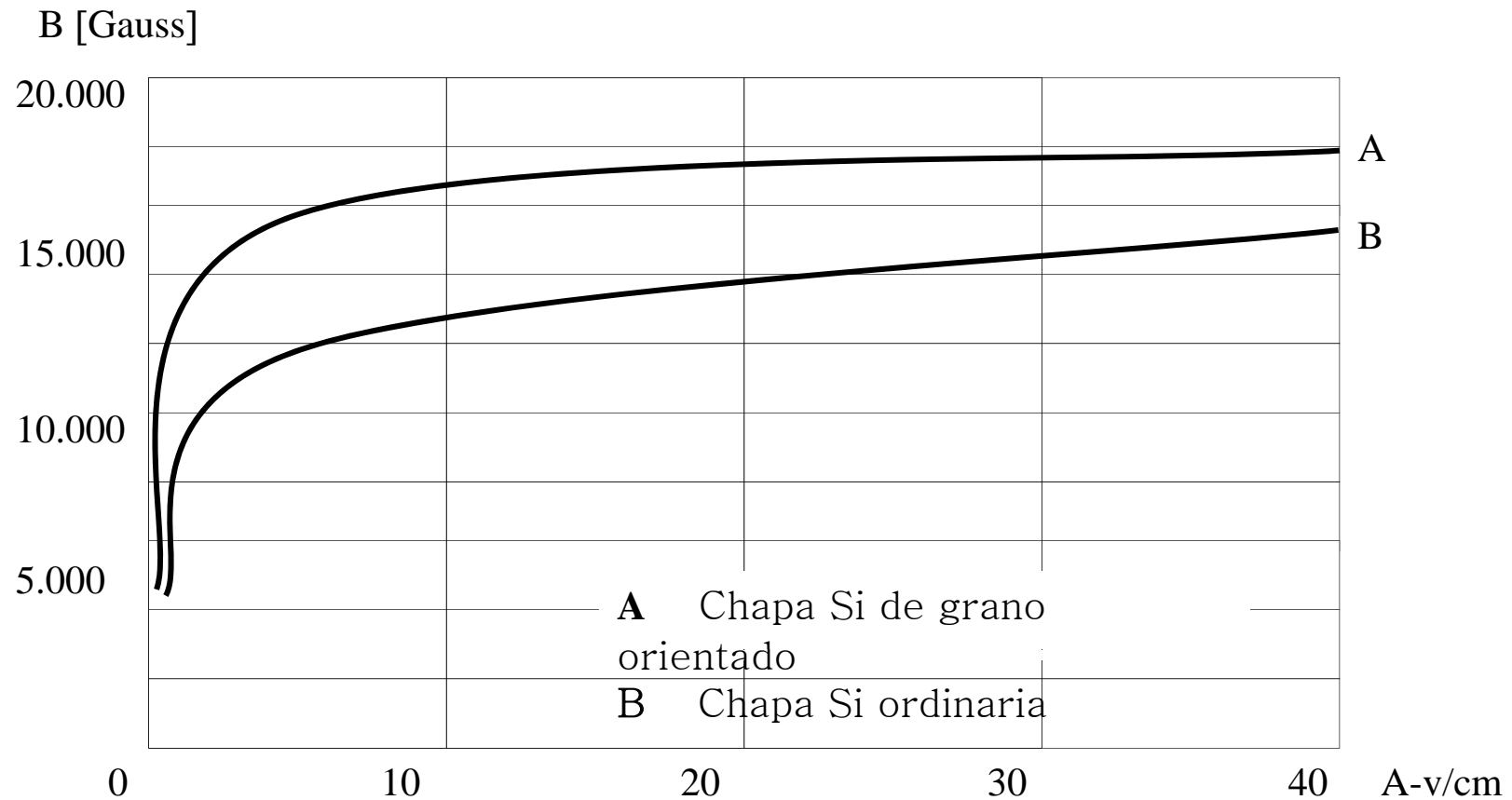
3. Valid for testing in A.C. field in the 25cm Epstein frame according to IEC 60404-2

4. These values are valid only for test specimens in the reference condition in accordance with IEC 60404-8-3 or EN 10126 (for ELMAG grades) and IEC 60404-8-2 (for ELMAG-Si grades)



Laminado en caliente o *chapa ordinaria*

Laminado en frio o *chapa de grano orientado*





DESIGNACIONES DE LA CHAPA SEGÚN NORMA



ThyssenKrupp

Thickness (mm)	Core loss @1.5T, 50HZ	PowerCore® Grade	Grades according to			
			IEC 60404-8-4:1998	IS 648:1994	JIS C 2552:1986	Former AISI
0.35	3.3	35C330	M330-35 A5	35C330		M36
0.35	3.0	35C300	M300-35 A5	35C300	35A300	M27
0.35	2.7	35C270	M270-35 A5	35C270	35A270	M19
0.50	8.0	50C800	M800-50 A5	50C800	50A800	
0.50	7.0	50C700	M700-50 A5	50C700	50A700	M47
0.50	6.3	50C630	-	50C630		
0.50	5.3	50C530	M530-50 A5	50C530		M45
0.50	4.7	50C470	M470-50 A5	50C470	50A470	
0.50	4.0	50C400	M400-50 A5	50C400	50A400	M43
0.50	3.5	50C350	M350-50 A5	50C350	50A350	M36
0.50	3.3	50C330	M330-50 A5	50C330	50A330	M27
0.50	3.1	50C310	M310-50 A5	50C310	50A310	M19
0.50	2.9	50C290	M290-50 A5	50C290	50A290	M15
0.50	2.7	50C270	M270-50 A5	50C270	50A270	
0.65	8.0	65C800	M800-65 A5	65C800	65A800	(M47)
0.65	5.3	65C530	M530-65 A5	65C530		
0.65	4.7	65C470	M470-65 A5	65C470		M43
0.65	4.0	65C400	M400-65 A5	65C400		M27
0.65	3.5	65C350	M350-65 A5	65C350		M19
1.00	13.00	100C1300	M1300-100 A5	100C1300		

Designation with in brackets "()" indicstes approximate equivalence



TEMARIO AULA: DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINAS ELECTRICAS

Tema I INTRODUCCIÓN. MATERIALES ELECTRICOS Y MAGNETICOS

Máquinas Eléctricas Rotativas

Ejemplo de chapa: M800-50 a 1.5T y 50 Hz 8 w/kg de pérdidas para chapa de espesor de 0.5 mm

		GRADE									
		50C 800	50C 700	50C 630	50C 470 50C 530	50C 400	50C 350	50C 330	50C 310	50C 290	50C 270
Rotating Machines	Large Rotating Machines						.	.	.	.
	Medium Capacity Rotating Machines				.	.	.				
	General Use A.C Motors			.	.						
	Hermetically Sealed Motors			.	.	.					
	Home Appliance Motors	.	.	.							
	Small Motors		.	.	.						
	Fractional Horse Power Motor	.	.	.							
	Domestic & Industrial Fan Motors	.	.	.							
	Small Power Transformer						.	.	.	.	.
	Reactor						.	.	.	.	.
Static Machines	Audio Transformer			.	.	.	.	.
	Instrument Transformer					.	.	.	.
	Ballast		.	.	.	.	.	.
	Welding Transformer					.	.				
	Magnetic Switches					.	.	.			



Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética). Alta frecuencia

Espesores: 0,05 , 0,1 , 0,15 mm

Aleación FeCo (Permendur: $\uparrow B_{sat}$)

Utilizada en fundición de partes del circuito magnético (polos)

Aleación FeNi (Permalloy: $\uparrow \mu$)

Bajas pérdidas y muy cara

Para grano no orientado, a 1 T, 400 Hz se tiene 13-15 W/kg



Materiales magnéticamente blandos

Metales amorfos

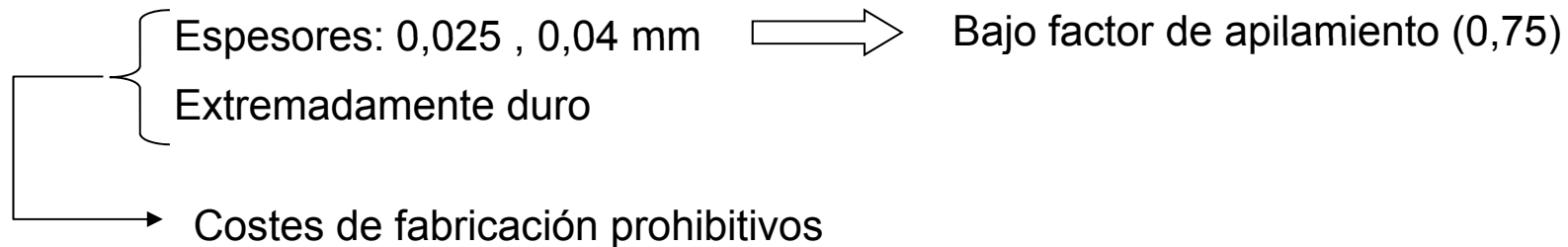
80 % Fe + Ni o Co + metaloides (Bo, Si, C)

Evacua el calor de forma rápida (1 millón °C/seg)

30% menos de pérdidas que la chapa de grano orientado

Gran permeabilidad

Valores bajos de B: 1,5 T



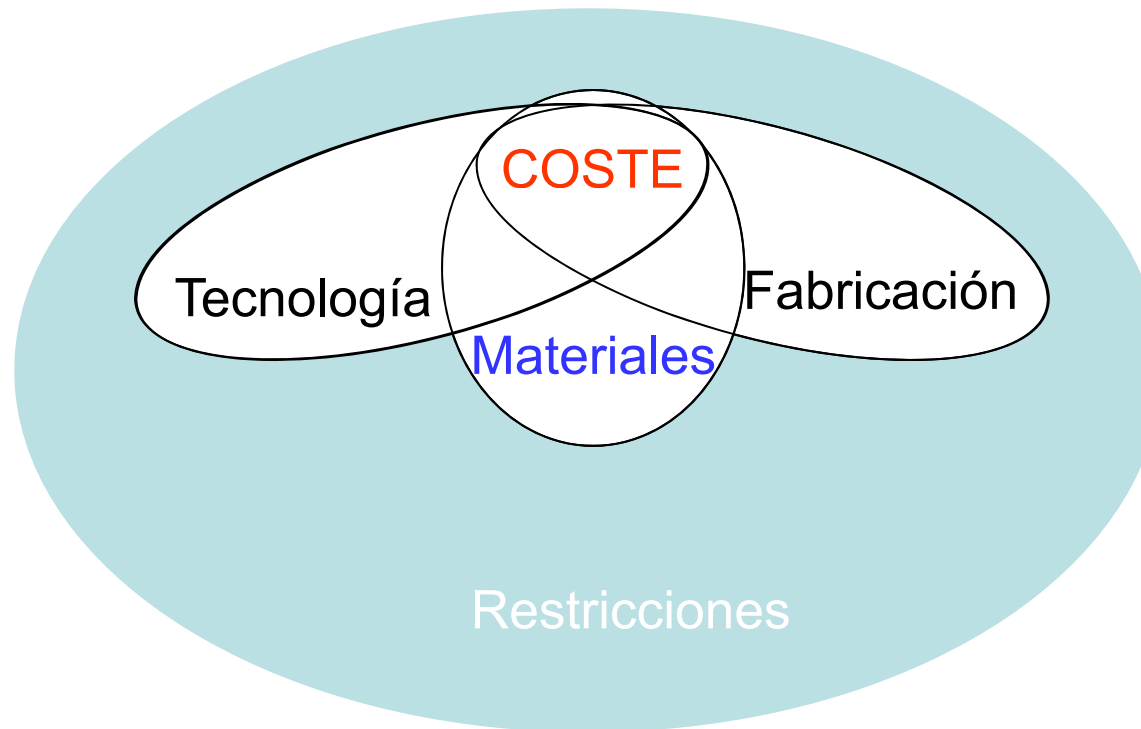
<http://www.nettlelynx.com/AmorphousAlloys.htm>



Materiales magnéticamente blandos

ELECCION DEL MATERIAL MAGNETICO

El diseñador y el fabricante buscarán:





Materiales magnéticamente blandos

ELECCION DEL MATERIAL MAGNETICO

Tipo de chapa	Silicio	Propiedades
Chapa de transformador	4 ÷ 5 %	Quebradizo Pérdidas reducidas
Chapa de dinamo	3 ÷ 4 %	Pérdidas algo mayores que el anterior Máquinas rotativas de alto rendimiento
Chapa de motor	2,50 %	Máquinas de mediana y gran potencia
Chapa magnética	1 %	Máquinas de C.A. de pequeña potencia
Chapa de inducido	0,50 %	Máquinas de C.C. de pequeña potencia



Materiales magnéticamente blandos

ELECCION DEL MATERIAL MAGNETICO

Aplicaciones domésticas

Con rendimientos del 60 al 70%

Se persigue bajo coste y fabricación fácil -> material barato y fácil de estampar:

- Grano no orientados
- Semiprocesado
- No aleado.

Motores de inducción estandar

Motor por excelencia, rendimientos del 70% (250W) al 90% (18,6 kW)

Se ha logrado un buen equilibrio en el diseño,

- Grano no orientado
- Pérdidas de 4 W/kg
- Grano orientado a 400 Hz

Motores paso a paso y servomotores de c.c.

Se persigue precisión.

Grano orientado



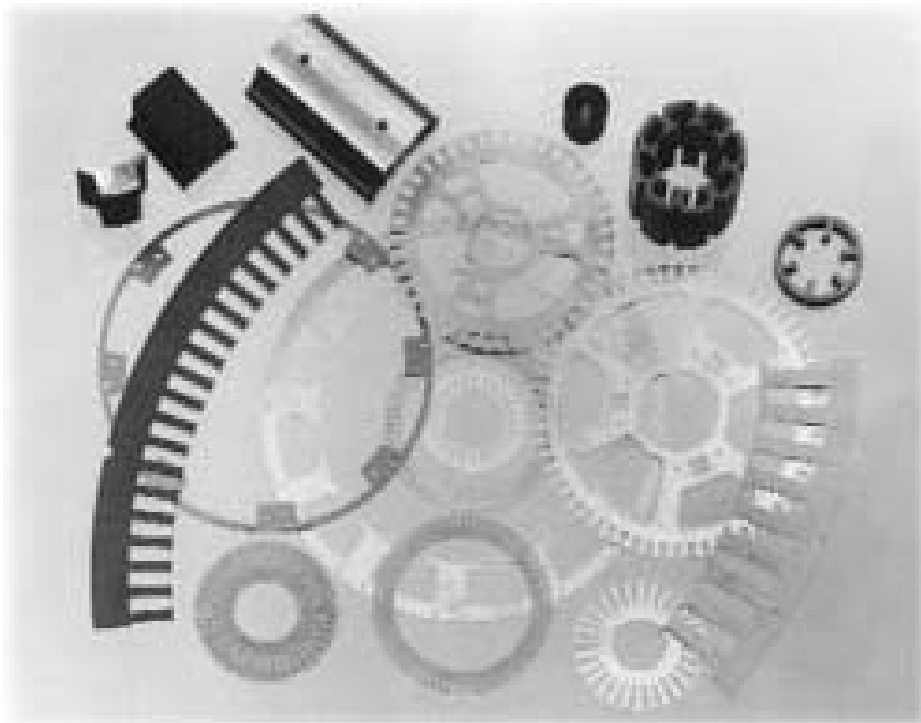
Materiales magnéticamente blandos

FABRICACION de la chapa

Los fabricantes de máquinas eléctricas rara vez son los fabricantes de la chapa, se limitan a comprar la chapa de la producción estandar.

Entorno a 300.000 chapas sale más barato estampar ranura a ranura, y se asegura la precisión en diámetros menores de 340 mm.

Especial cuidado debe prestarse a las rebarbas.

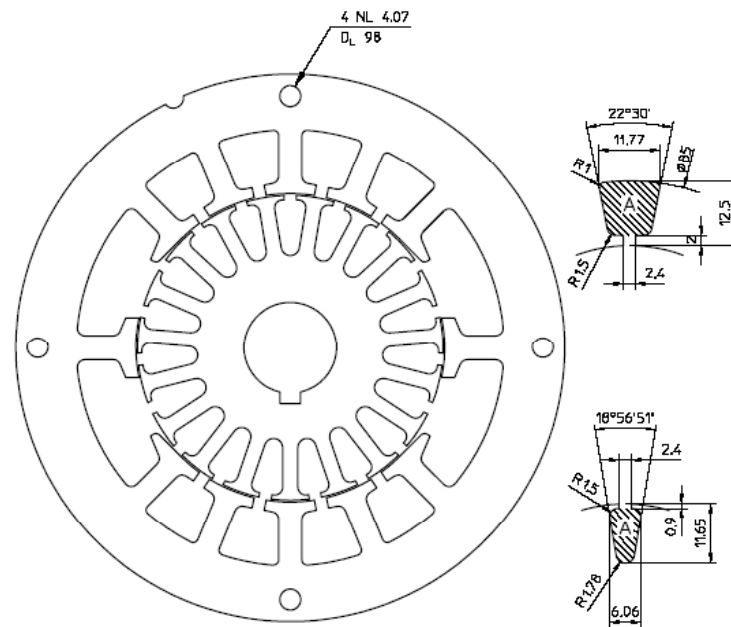




Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética)

Stator and rotor laminations for **d.c. machines**

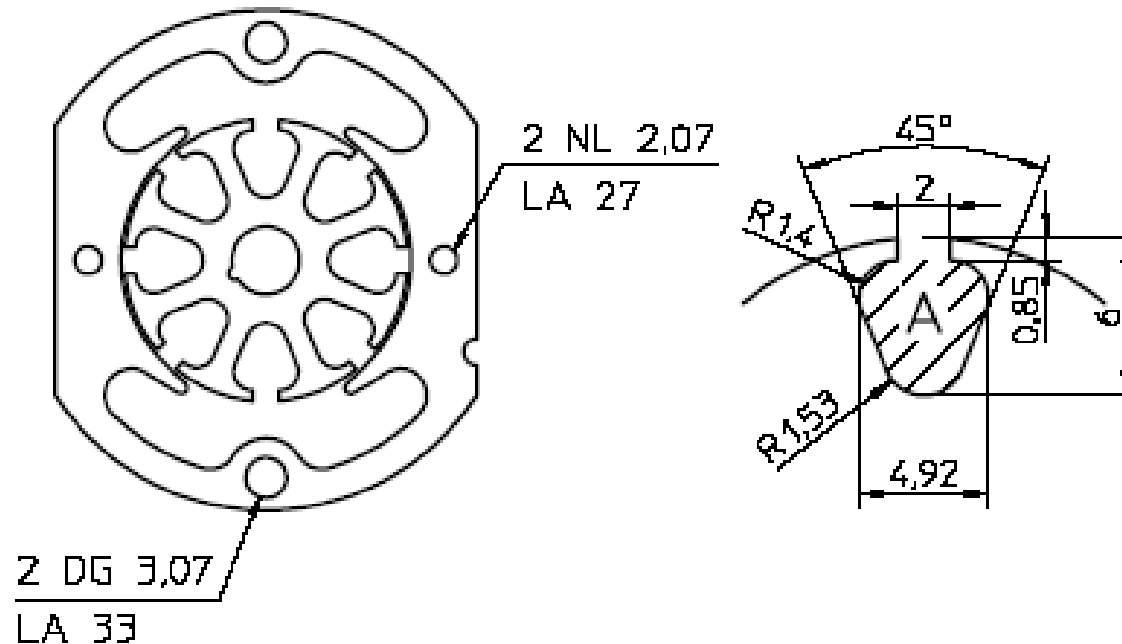




Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética)

Field and armature laminations for **universal motors**

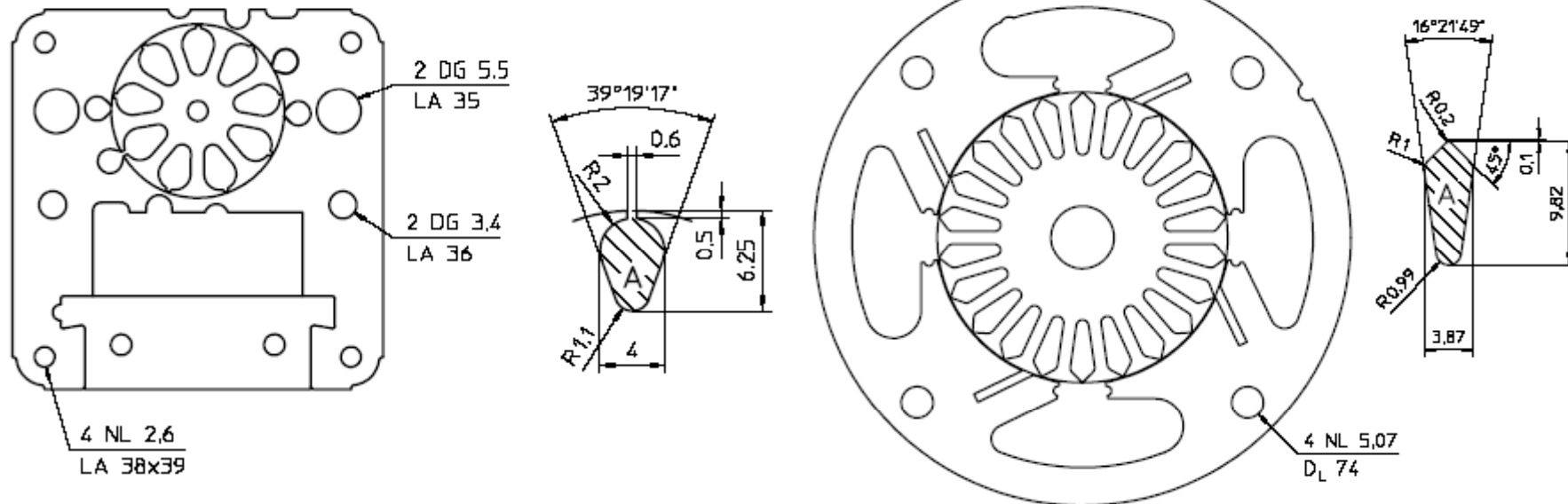




Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética)

Stator and rotor laminations for shaded pole motors

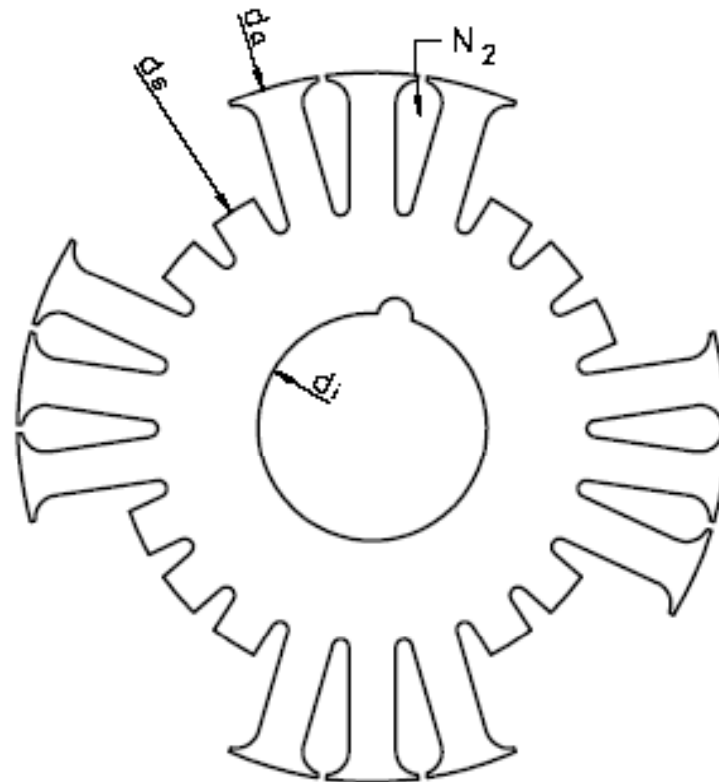




Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética)

Rotor laminations for **reluctant motors**





Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética) – Fabricación de la chapa

Fabricante de chapa: <http://www.acroni.si> —————> DEVELOPMENT & TECHNOLOGY
(non-orientated electrical steel sheets)

HOT PROCESSING



COLD PROCESSING





Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética) – Fabricación de la chapa

In the Hot-Rolling Mill the process starts with acceptance of the steel semi-products (slabs). The slabs are next charged into the pusher-type furnace, where they are reheated to the rolling temperature. Then they are passed between two rolls of a stand. Thus we get plates with thickness in the range of 8 – 100 mm or strips with thickness in the range of 2,0 – 7,0 mm and width up to 1000 mm. Plates are forwarded to the PC Plate Processing for final processing, while the strips are either further processed or cut into finished products for the market.





Materiales magnéticamente blandos

Acero (Chapa magnética) – Fabricación de la chapa

In the cold-rolling mill the processing of hot-rolled strips continues to produce thinner strips. It starts with accepting the hot-rolled strips from the hot-rolling mill, goes on with trimming of the coils on sides, pickling and sandblasting. Such coils are either cut into hot-rolled coils or plates to be sold or are finally transferred to the cold-rolling mill for the process of cold rolling. After the process of cold rolling is finished, they are submitted to heat treatment, cut into various sizes and dispatched





Materiales magnéticamente blandos

Montaje- ensamblaje





Tema I INTRODUCCIÓN. MATERIALES ELECTRICOS Y MAGNETICOS

INTRODUCCIÓN

Los materiales utilizados en una máquina eléctrica pueden agruparse en:

- 1) Materiales magnéticamente blandos
- 2) **Materiales conductores eléctricos**
- 3) **Materiales aislantes**
- 4) Imanes permanentes



Tema I INTRODUCCIÓN. MATERIALES ELECTRICOS Y MAGNETICOS

2) Materiales conductores eléctricos





Tema I INTRODUCCIÓN. MATERIALES ELECTRICOS Y MAGNETICOS

2) Materiales conductores eléctricos





Tema I INTRODUCCIÓN. MATERIALES ELECTRICOS Y MAGNETICOS

2) Materiales conductores eléctricos





Tema I INTRODUCCIÓN. MATERIALES ELECTRICOS Y MAGNETICOS

2) Materiales conductores eléctricos



Jaulas de aluminio fundido



Jaulas de cobre fundido