





Joan Frau

6 de julio de 2006

Índice



- 1. Introducción
- 2. Tecnología GRANO ORIENTADO EN FRÍO: "CGO"
- 3. Tecnología de NÚCLEO AMORFO: "AMDT"

4. Tecnología de SUPERCONDUCTORES: "HTS"

- 5. ENDESA y la Eficiencia en transformadores
- 6. Conclusiones





Trafo (kVA)	EFICIENCIA			
TIAIU (KVA)	NIVEL	%	OBSERVACIONES	
	BAJO (AA')	94,0	Pérdidas fijas = 95% del total	
100	ALTO (CC')	98,0		
	MUY ALTO (AMDT)	99,0		
400	BAJO (AA')	98,0	Pérdidas fijas =	
	ALTO (CC')	98,6	66% del total	
	MUY ALTO (AMDT)	99,4	0070 del total	



Pérdidas en transformadores de distribución



Pérdidas en transformadores MT/BT en Europa (UE-15)

⇒ 2% de la energía total generada (pérdidas totales ≈ 7%)

- ⇒ 55 TWh de pérdidas anuales
 - ⇒ Referencia de ahorro potencial:
 Energía demandada en España en 2005 ≈ 287 TWh
 (20%)

⇒ 8 centrales nucleares sólo para pérdidas fijas



Pérdidas en los transformadores de Distribución



- Pérdidas fijas
- Pérdidas variables

"ETIQUETADO"

• Estándar europeo (CENELEC): HD 428 – HD 538

PÉRDIDAS ESTÁNDAR EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN - CENELEC (Um < 24 kV)								
Pot. nom.	P _c (W)	P _c (W) en carga (HD 428)		TIPO SECO	P _o (W) en vacío (HD 428)			TIPO SECO
kVA	A (W)	B (W)	C (W)	HD 538	A' (W)	B' (W)	C' (W)	HD 538
50	1100	1350	875	N/A	190	145	125	N/A
100	1750	2150	1475	2000	320	260	210	440
160	2350	3100	2000	2700	460	375	300	610
250	3250	4200	2750	3500	650	530	425	820
400	4600	6000	3850	4900	930	750	610	1150
630	6500	8400	5400	7300	1300	1030	860	1500
1000	10500	13000	9500	10000	1700	1400	1100	2000
1600	17000	20000	14000	14000	2600	2200	1700	2800
2500	26500	32000	22000	21000	3800	3200	2500	4300

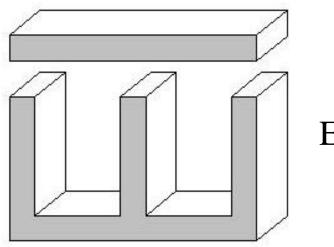


Diseño de Transformadores Eficientes



⇒ Diseño eficiente vía pérdidas fijas

- Reducción de la reluctancia del núcleo (μ↑, 1↓,S↑)
- Reducción del campo magnético: $P_{FE} = f(B^{1,6}, B^2)$
- Selección del patrón de corte



Esquema EI

- ⇒ Transformadores de grano orientado en frío (CGO)
- ⇒ Transformadores de núcleo amorfo (AMDT)

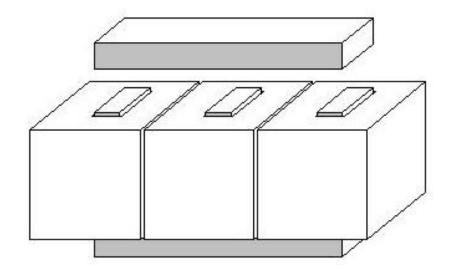


Diseño de Transformadores Eficientes



⇒ Diseño eficiente vía pérdidas variables

- Reducción de la resistencia de los devanados
- Selección de forma de los devanados (lámina, cable...)
- Reducir la densidad de corriente (S↑)



- ⇒ Devanados de <u>hojas</u> de <u>cobre</u> o aluminio
- ⇒ Transformadores superconductores (HTS)





P_{FE}

"OPTIMIZACIÓN"

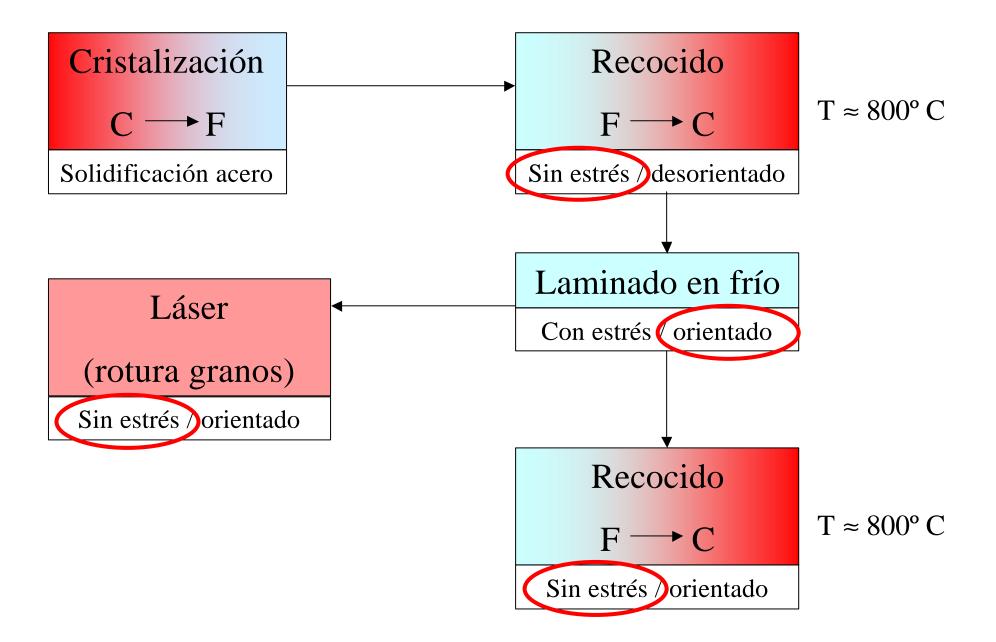
• CGO

AMDT



CGO: Proceso Industrial



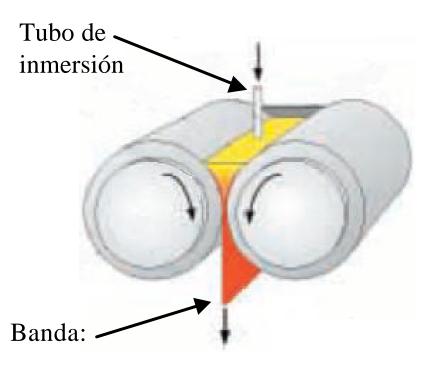




Transformadores de grano orientado en frío (CGO) CITCEA

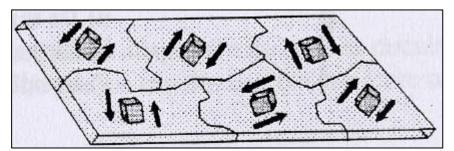
Colada y laminado en caliente - Cristalización





1,5-4.0 mm espesor

1,0-1,5 m ancho

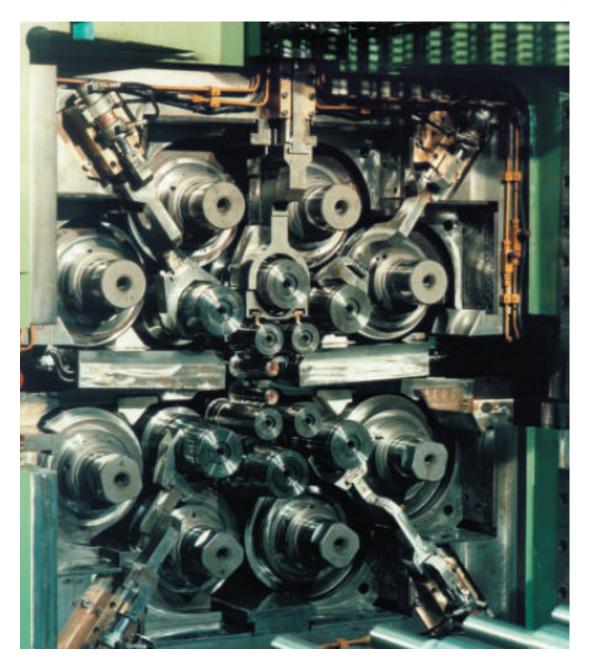


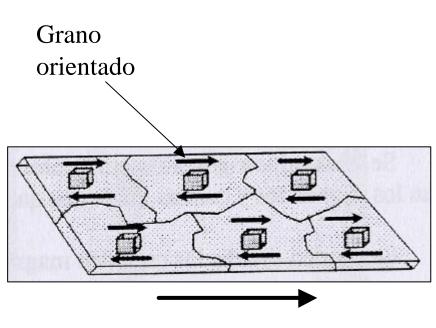


Transformadores de grano orientado en frío (CGO) CITCEA



Laminado en frío



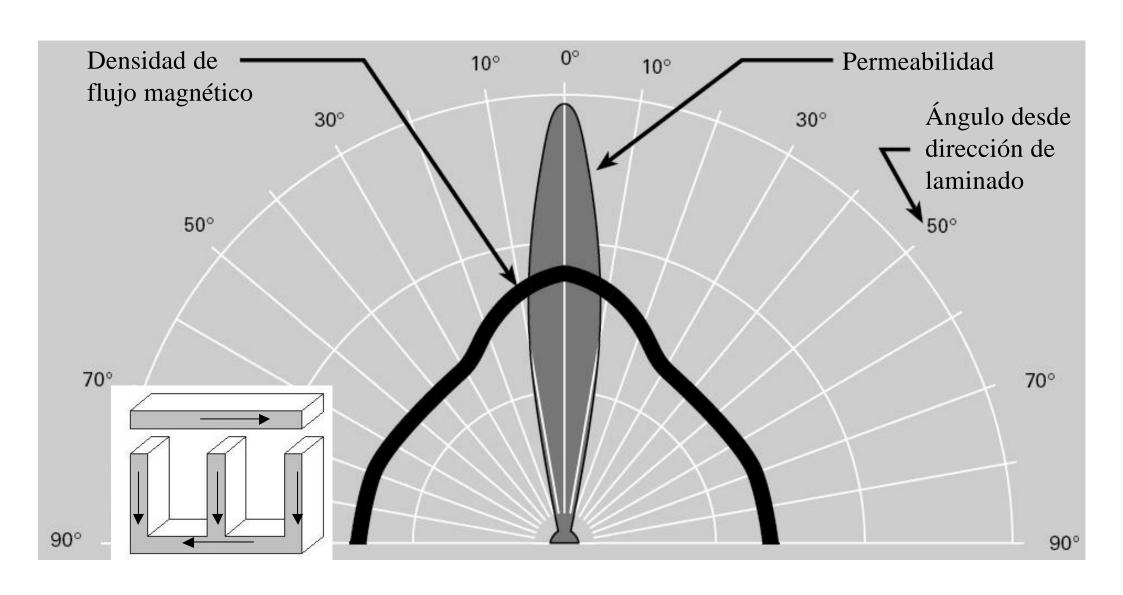


Dirección de laminado



Transformadores de grano orientado en frío (CGO)

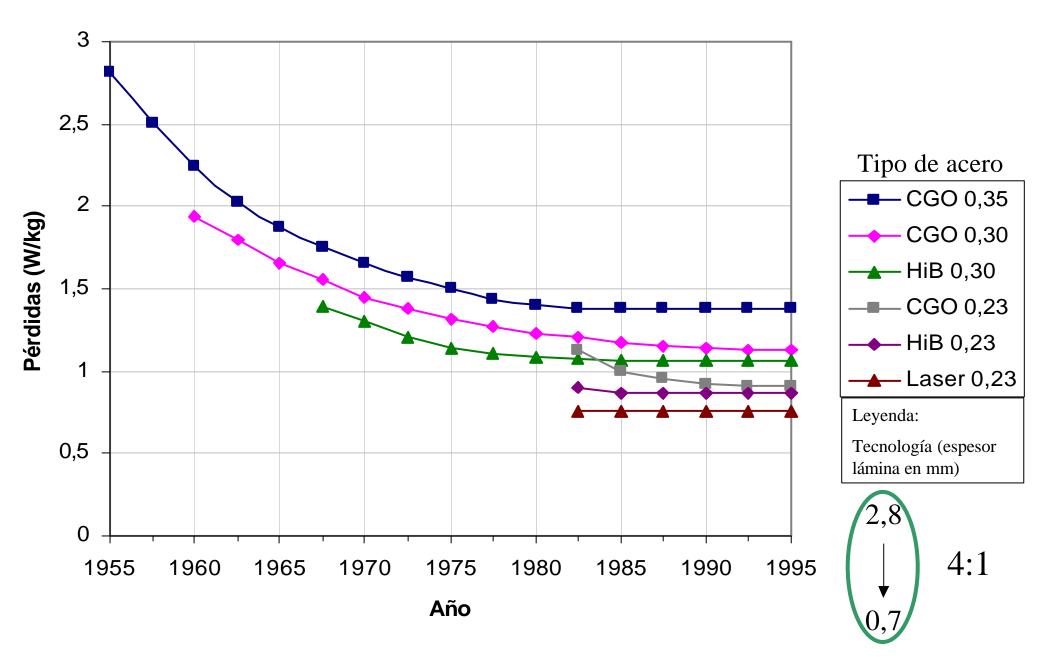
Permeabilidad polidireccional en aceros CGO





Transformadores de grano orientado en frío (CGO)

Evolución de la tecnología de grano orientado

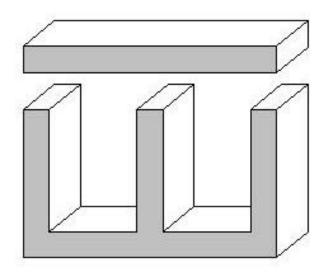




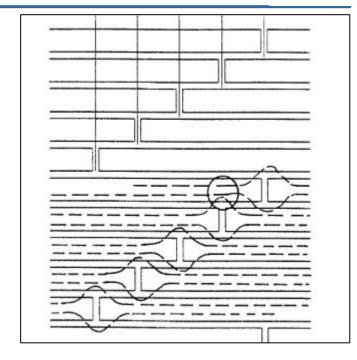
Transformadores CGO: Patrón de corte



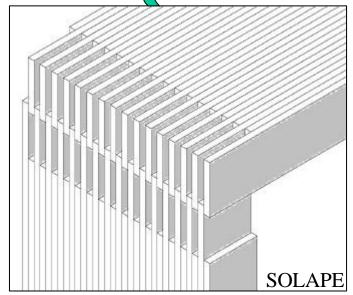
UNIONES

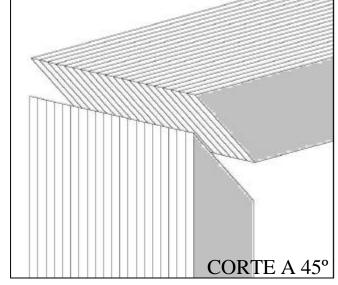


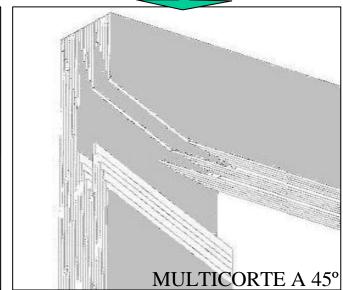
CAMBIO DE ORIENTACIÓN DEL FLUJO MÁS SUAVE



FLUJO EVITA AIRE



















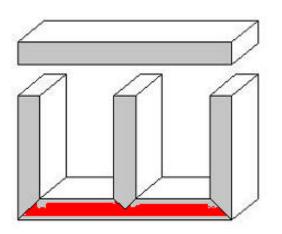


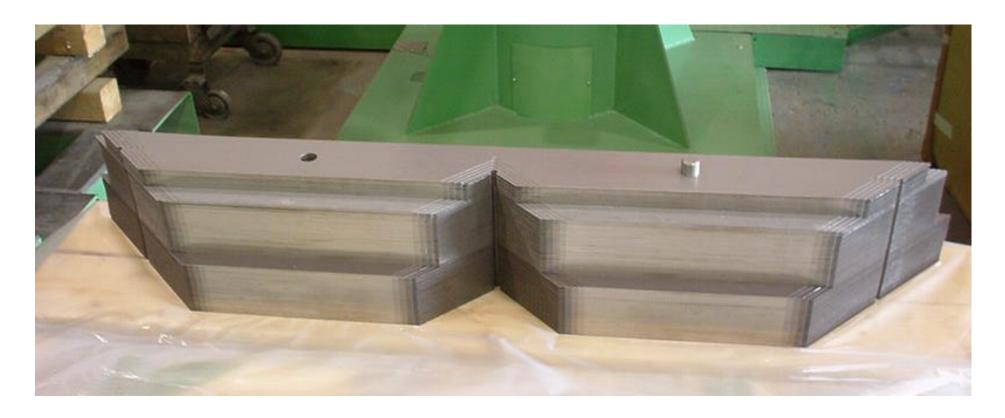
















¿Por qué utilizar núcleos amorfos?

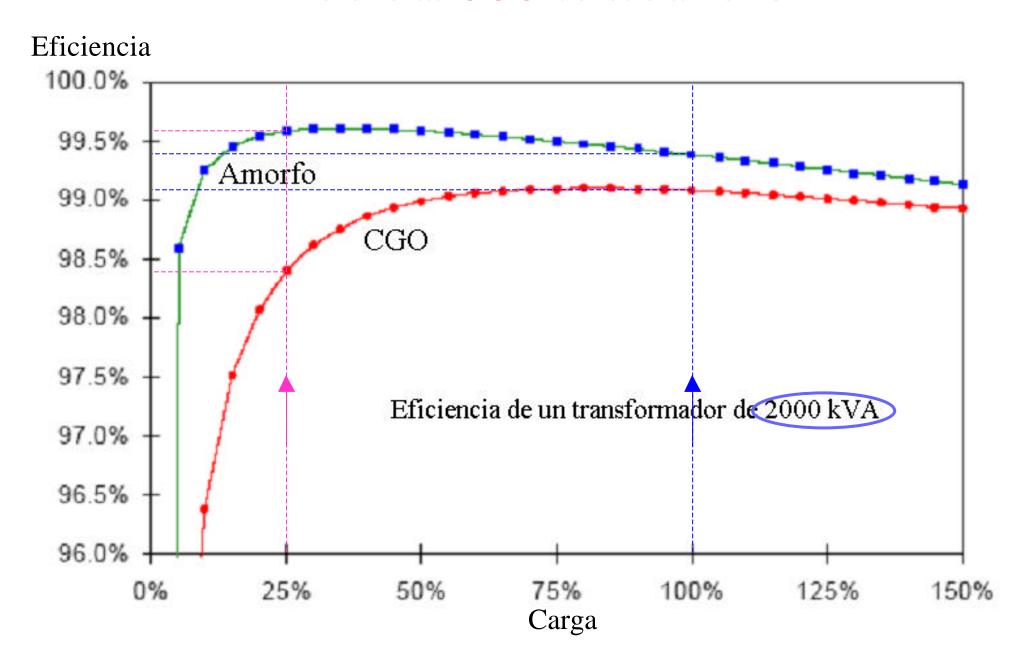
"AMDT"



Núcleo amorfo (AMDT)



Eficiencia: CGO versus amorfo

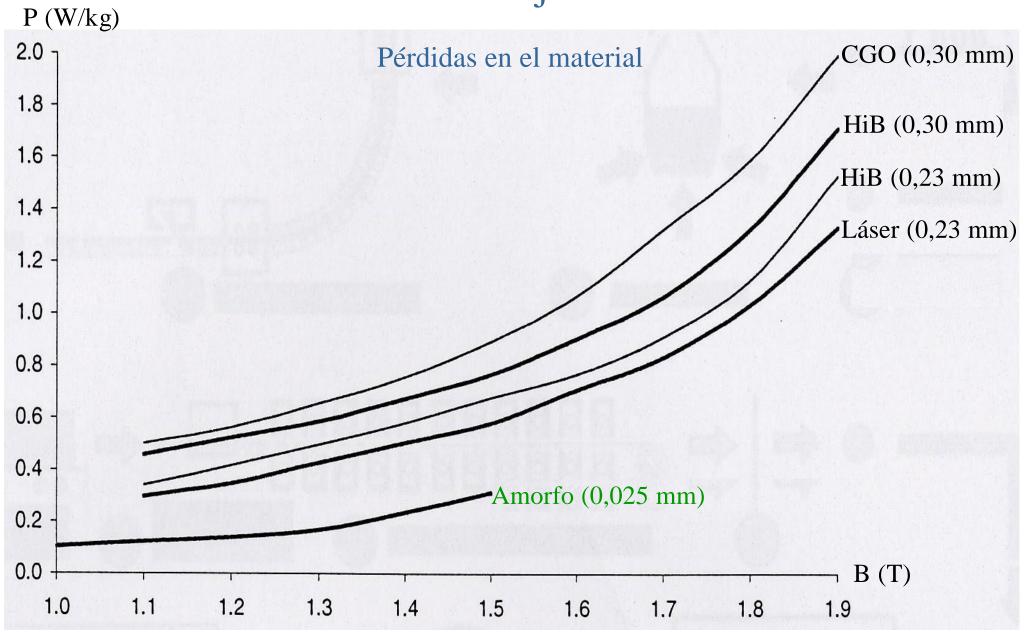




Núcleo amorfo (AMDT)



Ventajas



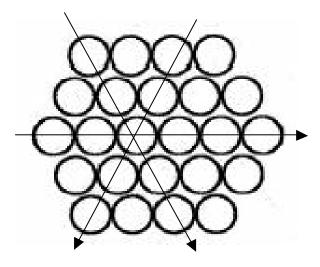


Núcleo amorfo (AMDT)



Estructura

Cristalina



- ⇒ Estructura ordenada
- ⇒ Anisotropía magnetocristalina
- ⇒ Alta coercitividad
- ⇒ Dificulta la magnetización y desmagnetización del núcleo

Estructura Amorfa

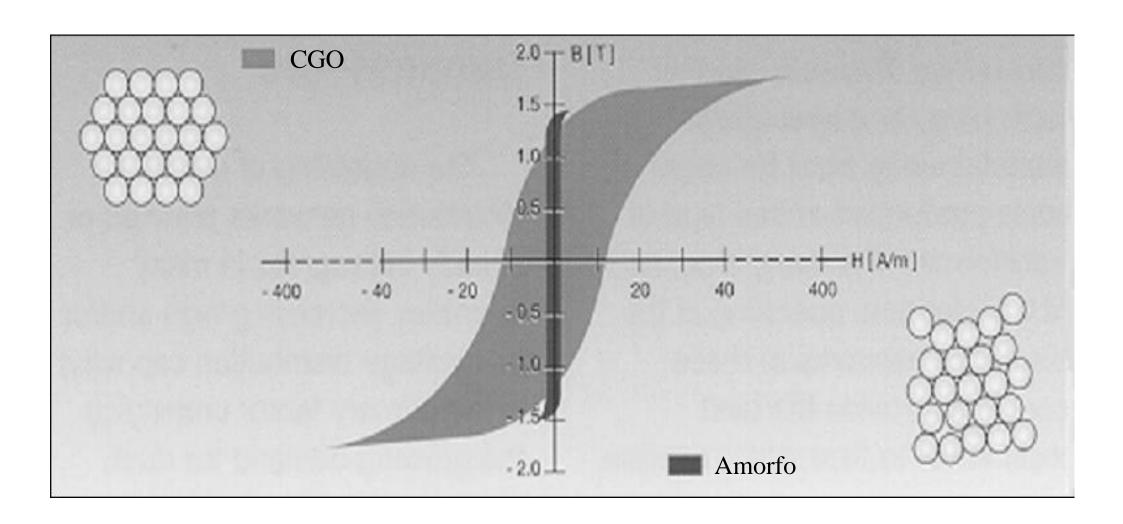


- ⇒ Estructura aleatoria
- ⇒ Isotropía magnetocristalina
- ⇒ Baja coercitividad (menos contacto)
- ⇒ Facilita la magnetización y desmagnetización del núcleo





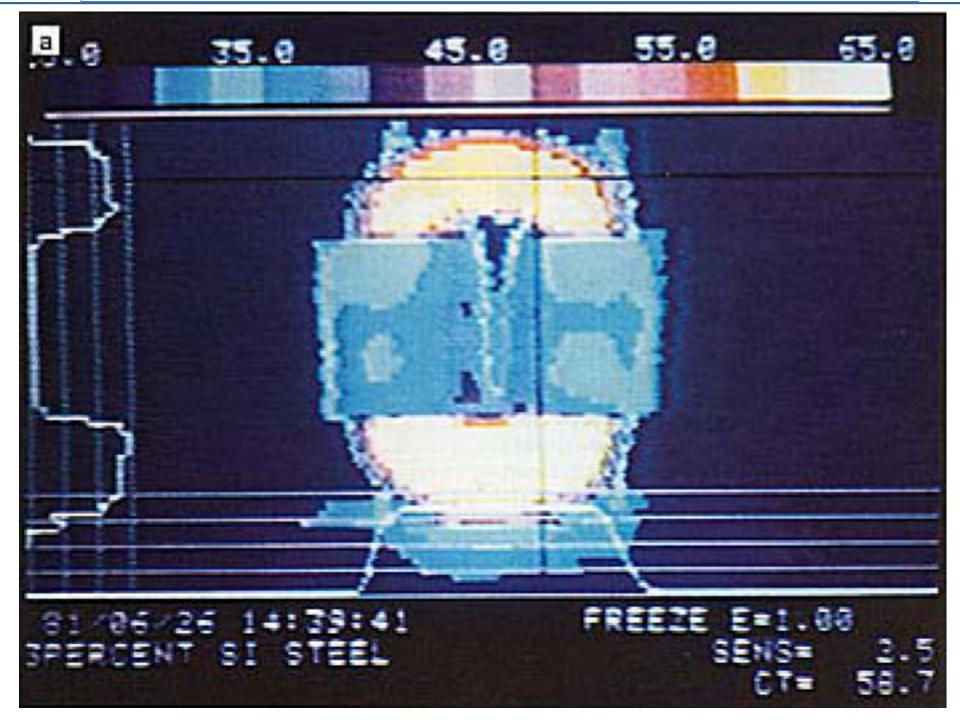
- ⇒ Isotropía magnética
- ⇒ Baja coercitividad





Núcleo CGO – Temperatura del núcleo

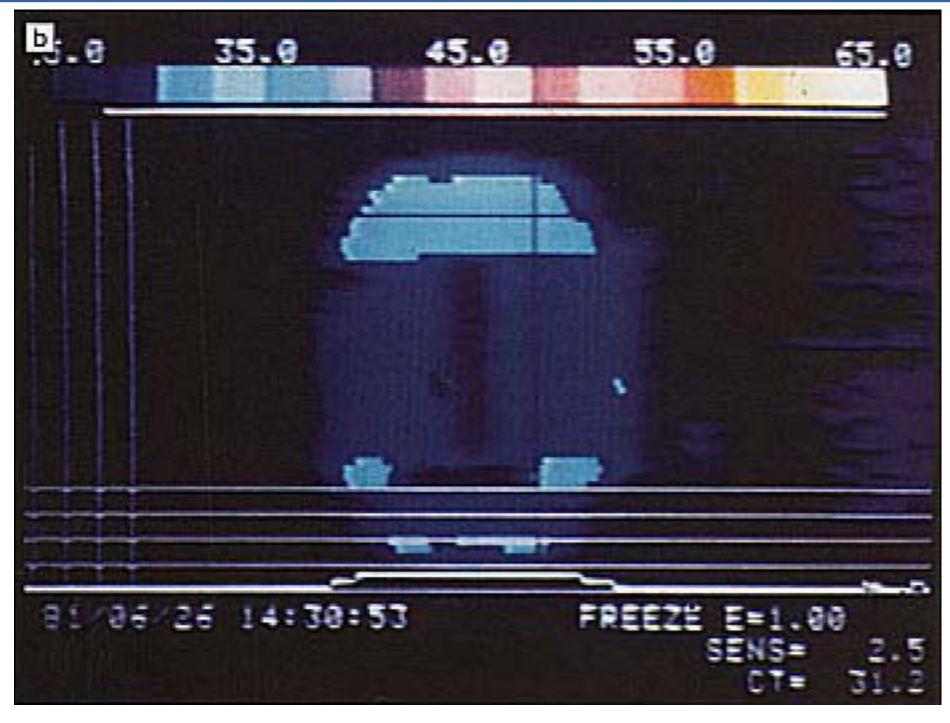






Núcleo amorfo – Temperatura del núcleo

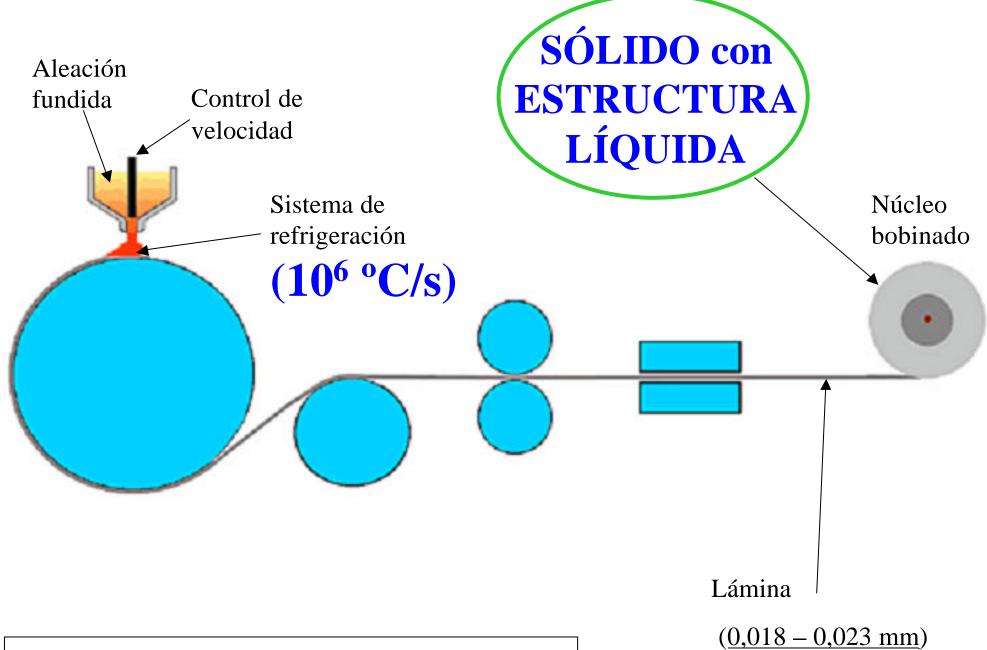






Núcleo amorfo - Fabricación





Espesor $CGO = 10 \times Espesor \times AMDT$



Núcleo amorfo - Fabricación

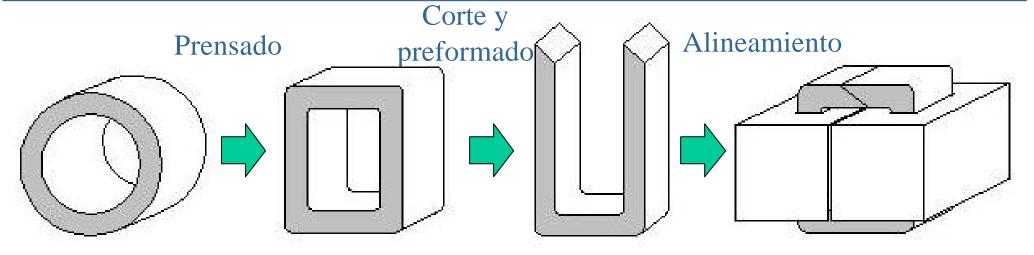


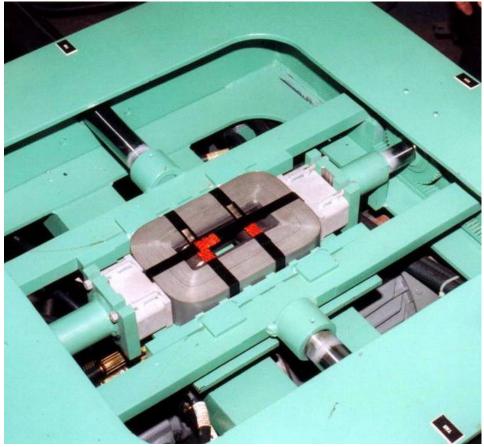




Núcleo amorfo - Fabricación





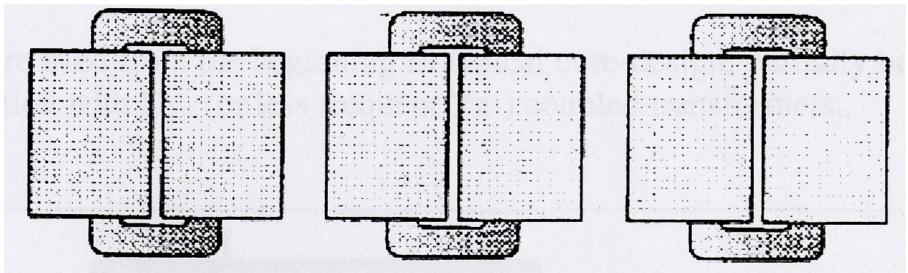




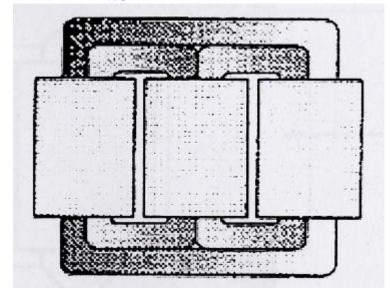


Núcleo amorfo – Esquemas de montaje trifásicos CITCEA

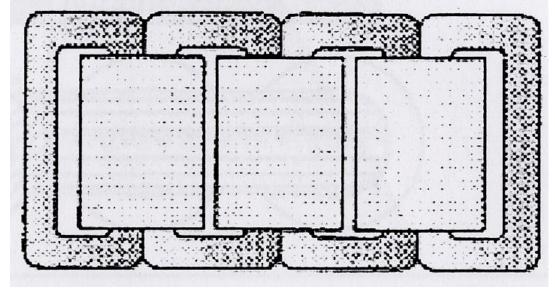
TRIPLEX



EVANS



5 COLUMNAS





Núcleo amorfo de 5 columnas







Características básicas de los núcleos



Pérdidas	Vacío	Carga
Núcleo amorfo	390 W	17 kW
Convencional	2600 W	17 kW
HD 428 C-C'	1700 W	14 kW

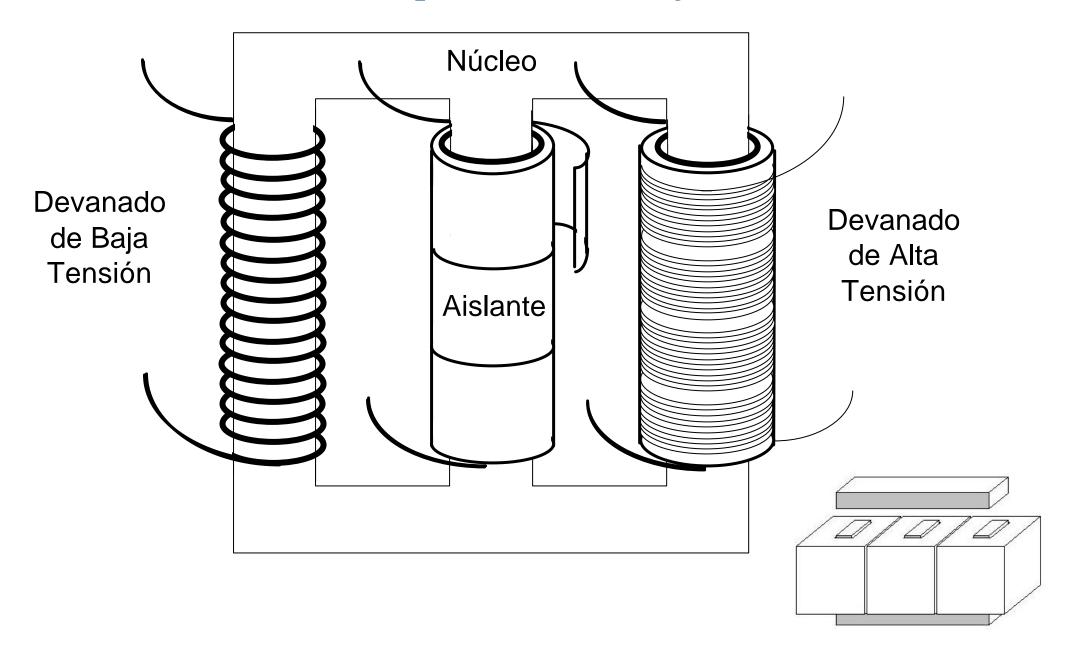
		CGO	HiB	Amorfo
Grosor	mm	0,30	0,23	0,025
Densidad	kg/dm ³	7,65	7,65	7,18
Saturación mag.	T	2,04	2,04	1,56
Pérdidas en vacío	%	100	65	(25)



Montaje de los devanados (etapas)



Esquema de montaje





Montaje de los devanados ("cableado")







Montaje de los devanados ("laminado")









P_{CU} "OPTIMIZACIÓN"

SUPERCONDUCTORES





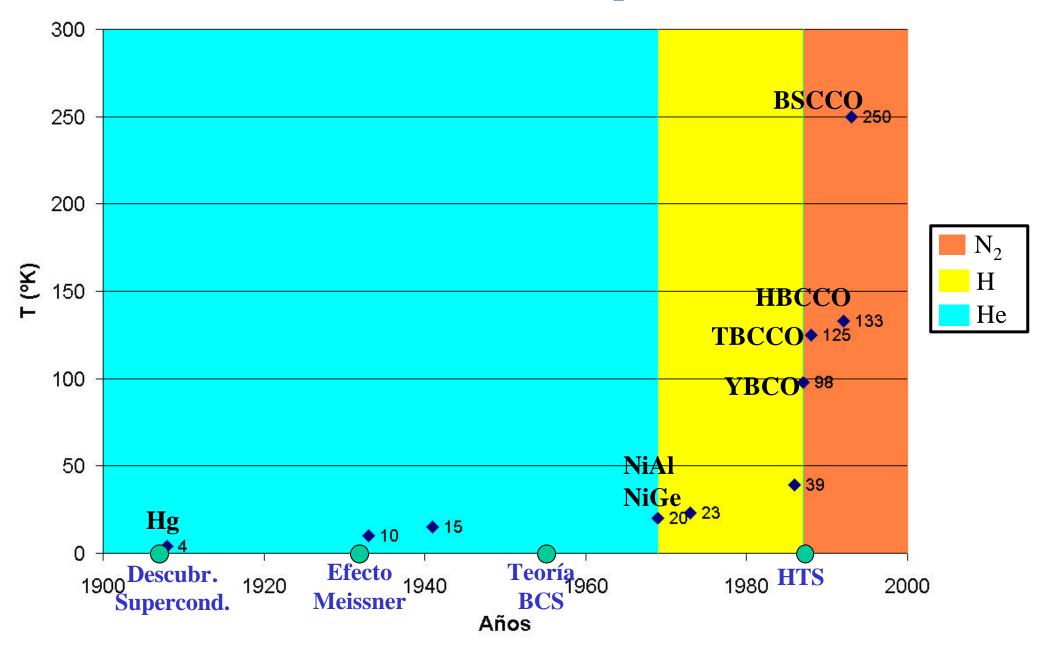
Superconductividad

- ⇒ 1908: <u>Descubrimiento</u> (Hg con He ≈ 4 K)
- ⇒ 1933: Superconductor refrigerado a T < Tc:
 - ⇒ B rodea la superficie (efecto Meissner), si B no intenso
- ⇒ 1957: Teoría BCS (Bardeen, Cooper, Schrieffer):
 - ⇒ No explica la superconducción en materiales HTS
- ⇒ 1986: Superconductores <u>HTS</u> (98 K < T < 250 K)
 - ⇒ **YBCO** ("yib-co"): Y, Ba, CuO (98 K)
 - ⇒ TBCCO: Tl, Ba, Ca, CuO (125 K)
 - ⇒ HBCCO: Hg, Ba, Ca, CuO (133 K)
 - ⇒ BSCCO ("bis-ko"): Bi, Sr, Ca, CuO (250 K)





Evolución de la temperatura crítica







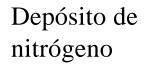
Transformadores

- ⇒ Eficiencia alta: pérdidas variables bajas
 - ⇒ 80% de pérdidas variables son por efecto Joule
- ⇒ Sobrecarga admisible: 2 x In
- ⇒ Limita la potencia de cortocircuito (coste aparellaje↓)
- ⇒ Peso y volumen hasta un 40% inferiores
- ⇒ Baja Zcc: regulación de tensión
- - ⇒ No contaminante
 - ⇒ No inflamable



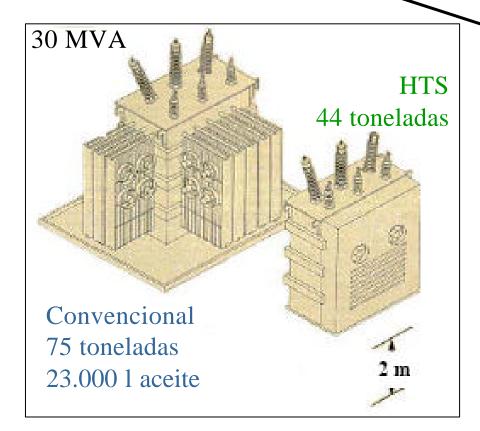


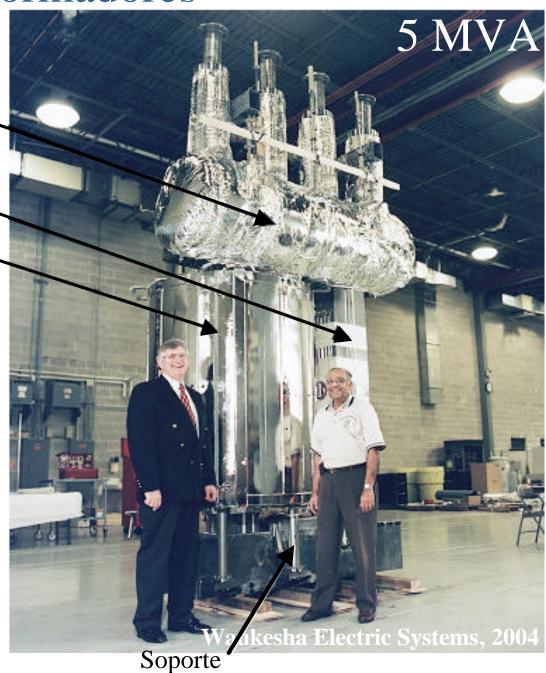
Transformadores



Núcleo

Cubiertas de los devanados

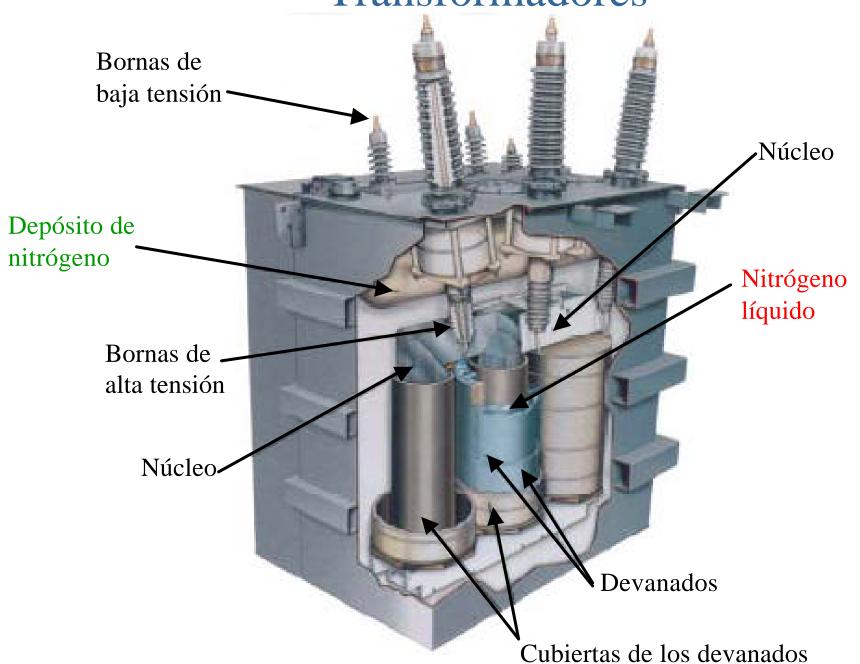














Características (+)

- ⇒ Resistencia nula a baja temperatura:
 - \Rightarrow Pv \approx 0 + compacto
- ⇒ Gran resistencia eléctrica a temperatura ambiente
 ⇒ Limita Icc
- ⇒ Gran densidad de corriente: hasta 1 millón A/cm²
 - ⇒ x 2000 Cu
 - $\Rightarrow \sigma_{cu} = 500 \text{ A/cm}^2$





Características (-)

- ⇒ Resistencia nula sólo en continua
 - ⇒ Pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault

- ⇒ Pérdida de superconductividad en ciertas condiciones:

 - ⇒ Corrientes elevadas (intensidad crítica)
 - ⇒ Altas temperaturas (temperatura crítica)



Endesa y los transformadores eficientes



- 400 kVA C-C', estándar Endesa desde 2003
- Proyecto europeo SEEDT: "Strategies for Development & Diffusion of Energy Efficient Transformers" (2006/08)
 - En colaboración con 5 países europeos:
 - Francia
 - Alemania
 - Italia
 - Polonia
 - Grecia





Renovables versus Eficiencia Energética



		MERCADO REGULADO			
	CARACTERÍSTICAS	(% de TMR)	(% de TMR)		
		Primeros 25 años	Resto		
ENERGÍA	P < 100 Kw	575%	460%		
FOTOVOLTAICA	P > 100 Kw	300%	240%		

		MERCADO REGULADO			
	CARACTERÍSTICAS	(% de TI	(% de TMR)		
		Primeros 5 años	5 a 15 años	Resto	
ENERGÍA	P < 5 MW	90%	90%	80%	
EÓLICA	P > 5 MW	90%	85%	80%	

		MERCADO LIBERALIZADO			
	CARACTERÍSTICAS	(% de TMR)			
		Primeros 25 años	Resto		
ENERGÍA FOTOVOLTAICA	P < 100 Kw	1	-		
		Pool + 250%	Pool + 200% TMR		
	P > 100 Kw	TMR + 10% TMR	+ 10% TMR		

		MERCADO LIBERALIZADO		
	CARACTERÍSTICAS	(% de TMR)		
ENERGÍA	P < 5 MW	Pool + 40% TMR + 10% TMR		
EÓLICA	P > 5 MW	Pool + 40% TMR + 10% TMR		

Decreto 436/2004

Tarifa Media Referencia (TMR) 2006: 7,7644 c€kWh BOE 1 de Julio de 2006



¿Rentabilidad?





PLAN DE ACCIÓN 2005-2007







- Electrodomésticos
- Iluminación
- Construcción
- Cogeneración
- Transporte
- •





Endesa y los trafos eficientes: referencias



- Transformadores: Eficiencia Energética y Tecnología
 - Automática e Instrumentación, julio 2006
- Distribution Transformers in Spain: Energy Efficiency and Incentives
 - Transmission & Distribution World Magazine (3^{er} trimestre 2006)
- Eficiencia energética en transformadores de distribución
 - Automática e Instrumentación, junio 2003 (nº 341)
- Energy Efficiency and Profitability Analysis of Reduced Loss Transformers: Experiences in Spain
 - CIRED, 2003





Gracias por su atención eficiente!