



MÁQUINAS SÍNCRONAS

- Constitución.

Rotor = Inductor d.c.

Estator = Inducido a.c.

Alternadores.

Motores síncronos.

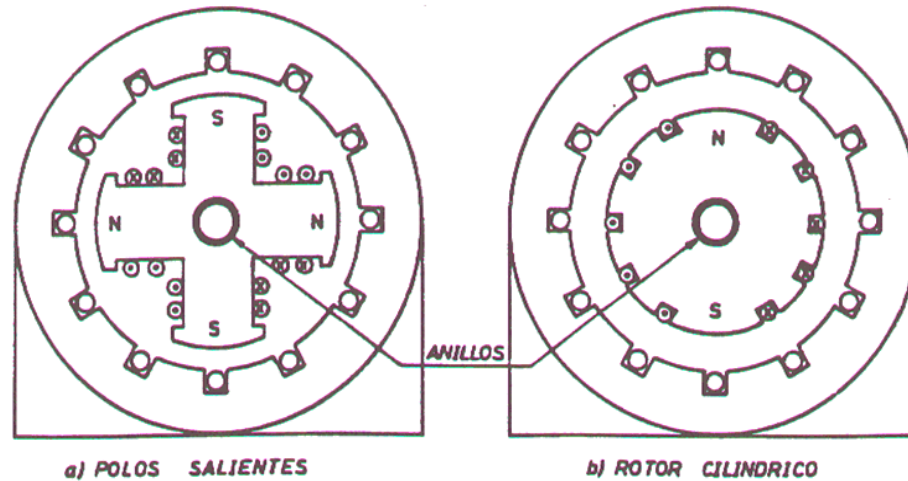
Principios de funcionamiento.

Reactancia síncrona.



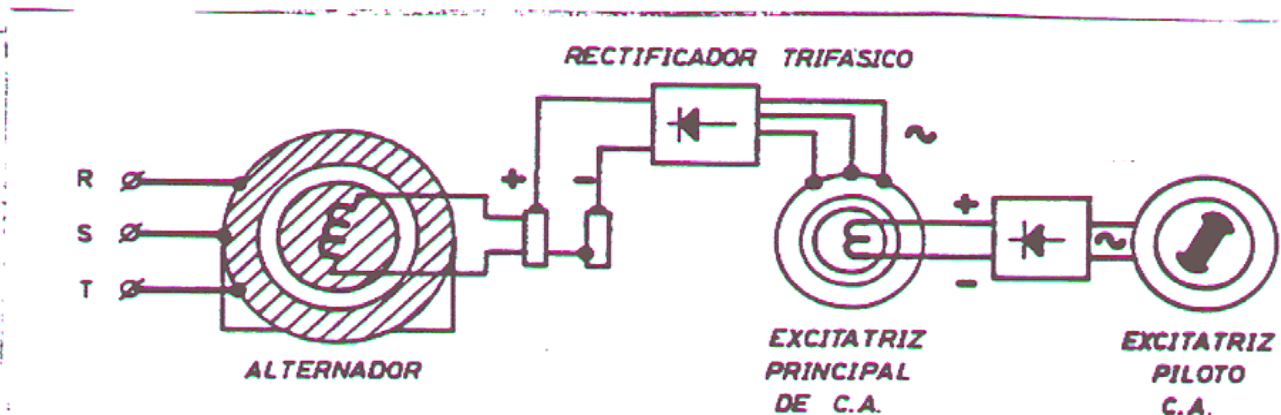
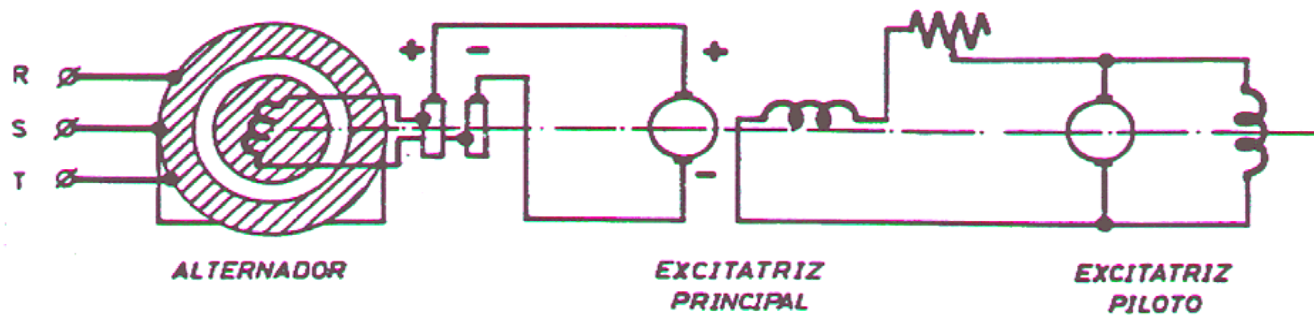
MÁQUINAS SÍNCRONAS

Constitución





MÁQUINAS SÍNCRONAS





MÁQUINAS SÍNCRONAS

- Ecuaciones básicas.
- **Ecuación temporal y vectorial de una fase**

Φ_p, Φ_d, Φ_i son los flujos magnéticos principal, de dispersión y de reacción del inducido.

$$u + Ri = -n \left[\frac{d\Phi_p}{dt} + \frac{d\Phi_d}{dt} + \frac{d\Phi_i}{dt} \right]$$

$$u + Ri = e_0 - l_d \frac{di}{dt} + e_i$$

$$\vec{U} + R\vec{I} + jX_s\vec{I} = \vec{E}_0$$

$$E_i = -jX_i I$$

$$X_s = X_i + X_d$$

- La f.e.m. debida al flujo de reacción del inducido es equivalente a una reactancia.



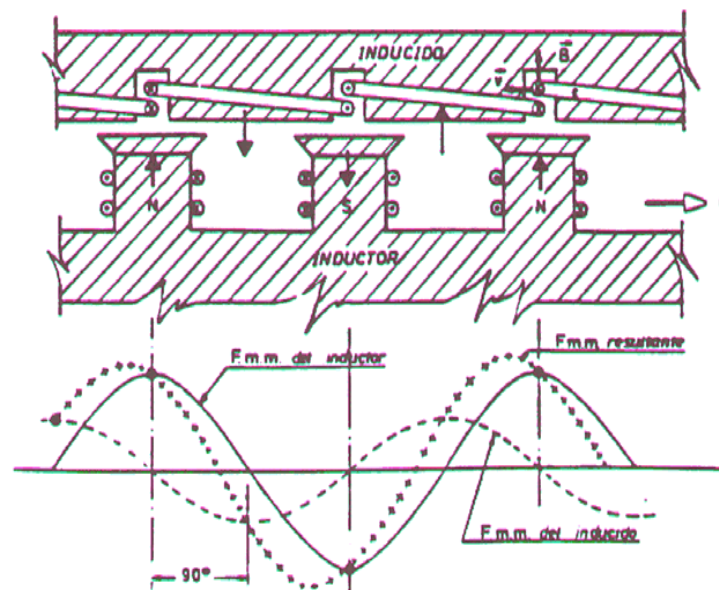
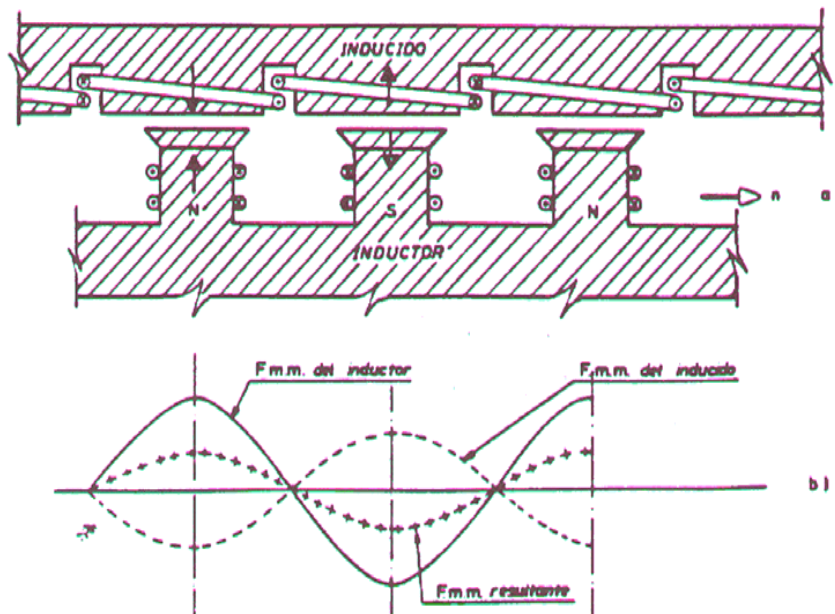
MÁQUINAS SÍNCRONAS

Principio de funcionamiento

- La f.e.m. generada debe ser sinusoidal en el tiempo. Esa forma es la misma que la distribución de B en el entrehierro, pues $e = Blv$. Para tener una f.e.m. senoidal en los devanados del estator debemos tener una distribución espacial de la inducción en la periferia del rotor.



MÁQUINAS SÍNCRONAS



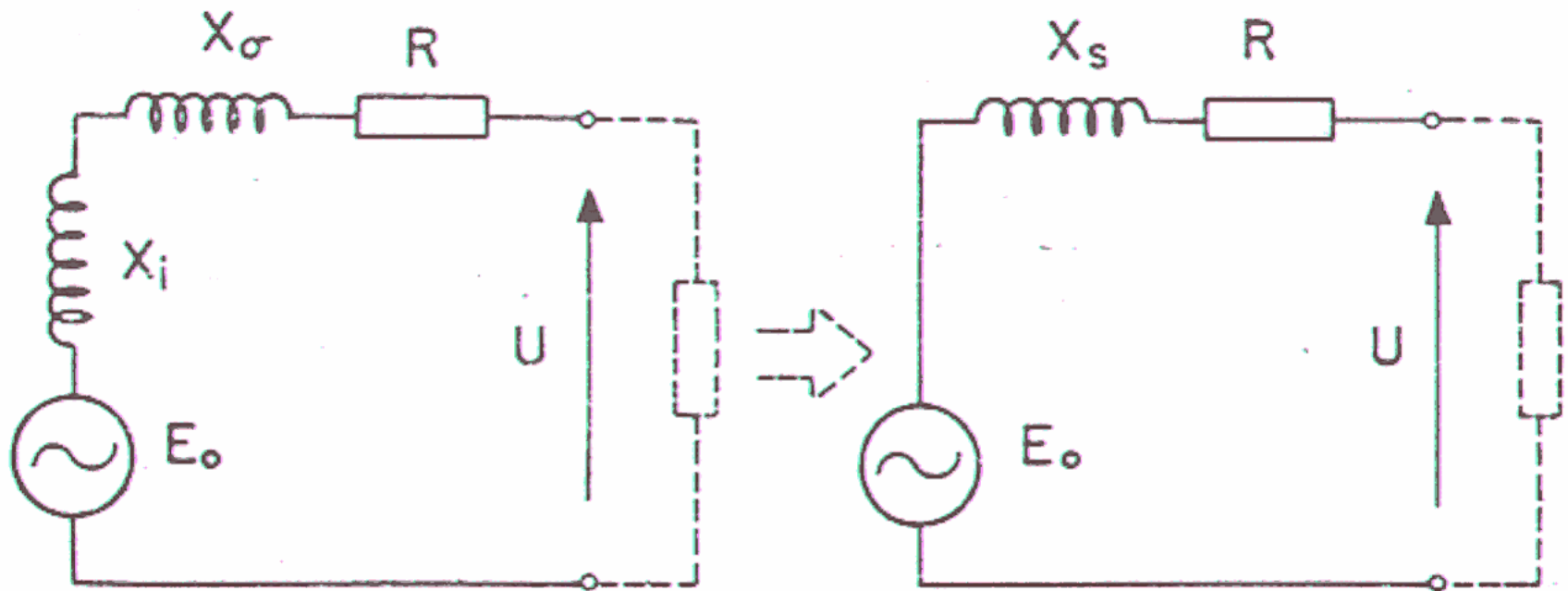


MÁQUINAS SÍNCRONAS

- Circuito equivalente.
- Diagrama vectorial.
- Ensayos
 - Vacío
 - Cortocircuito
- Característica externa $U=f(I)$
- Regulación de tensión.

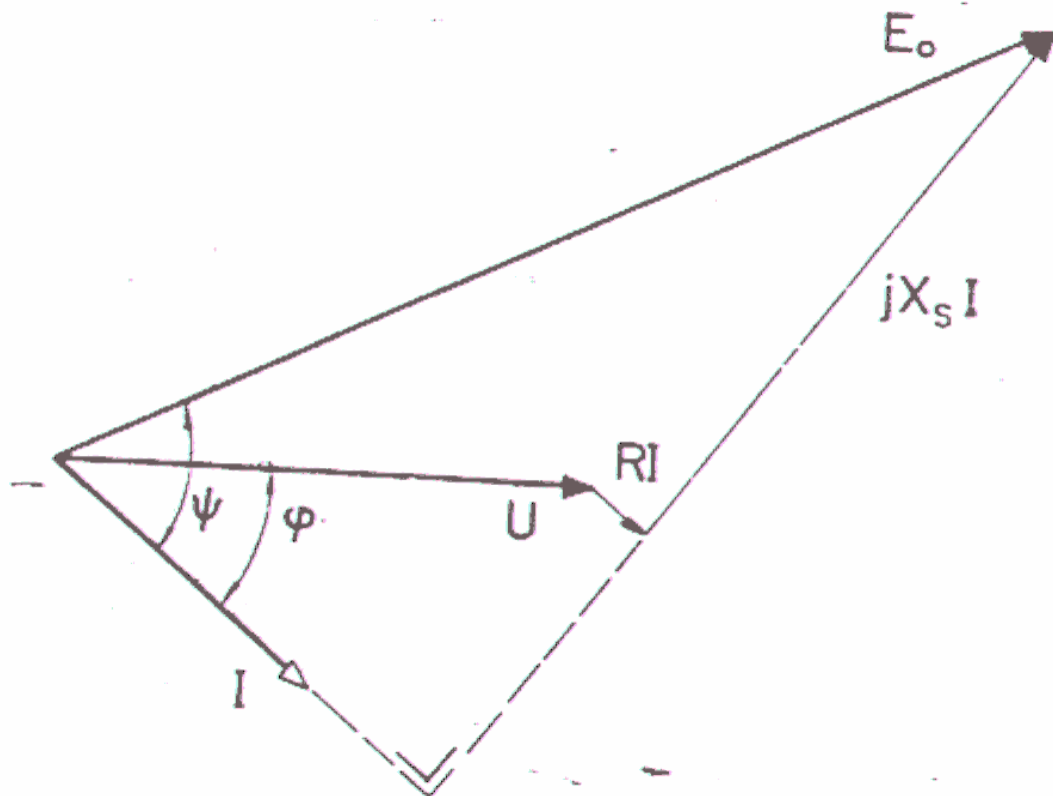


MÁQUINAS SÍNCRONAS





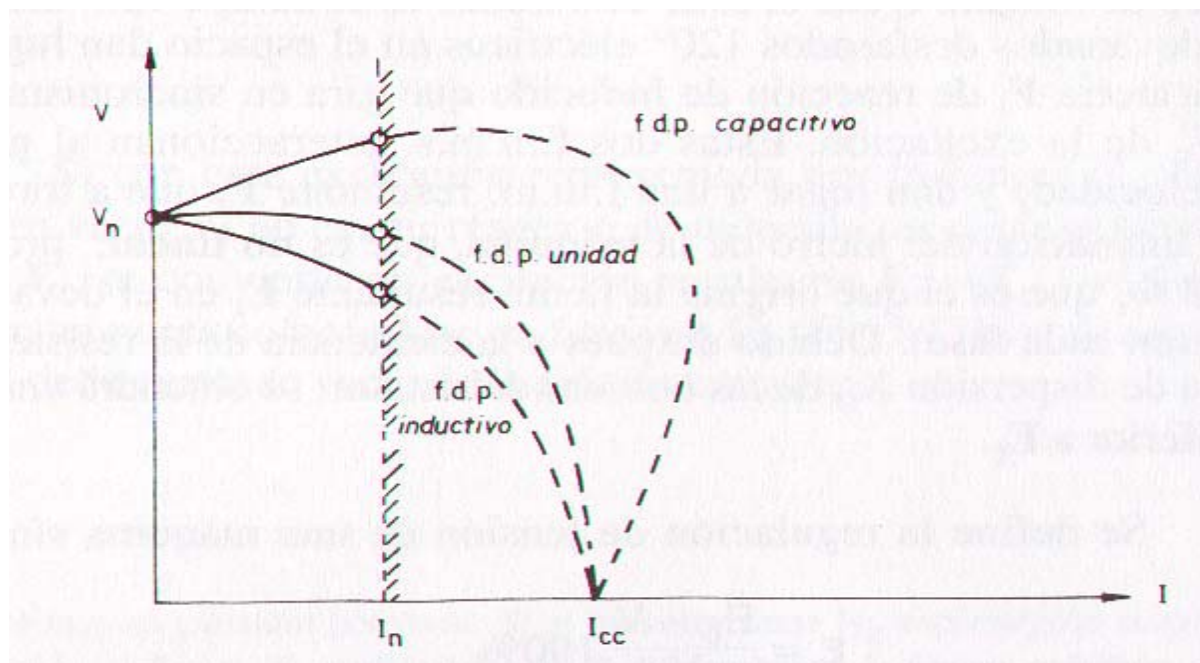
MÁQUINAS SÍNCRONAS





MÁQUINAS SÍNCRONAS

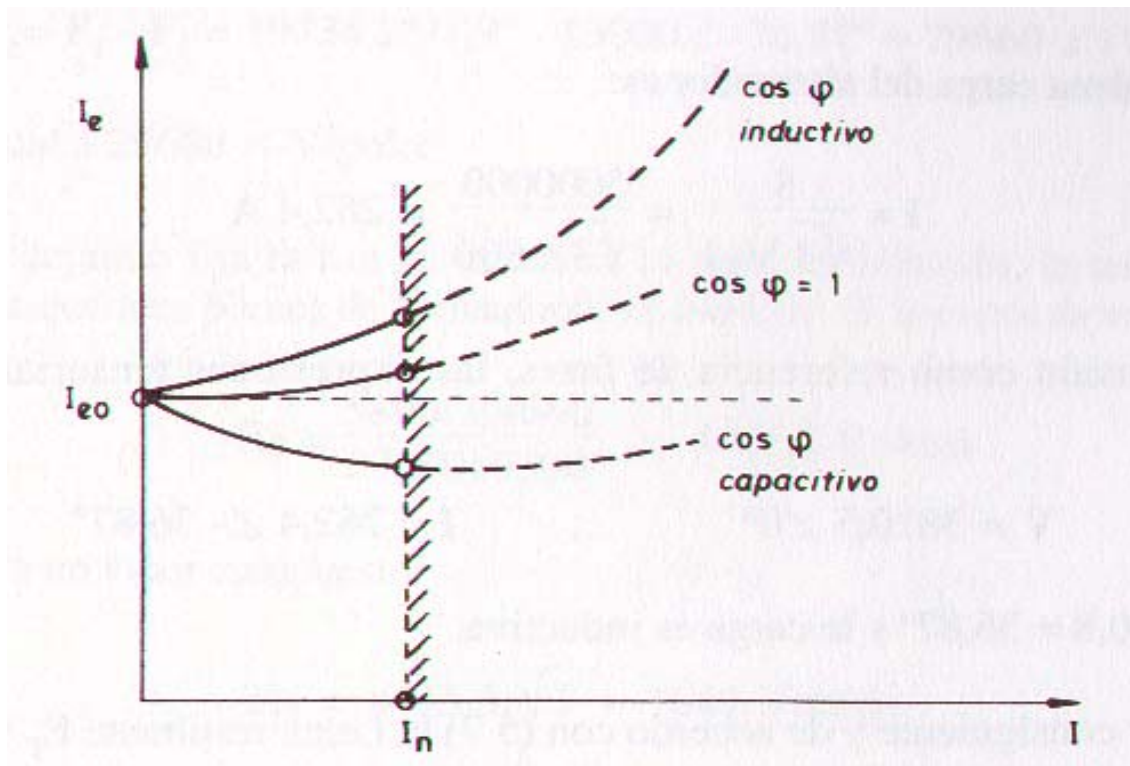
Característica externa $V=f(I)$





MÁQUINAS SÍNCRONAS

Característica de regulación $I=g(i)$



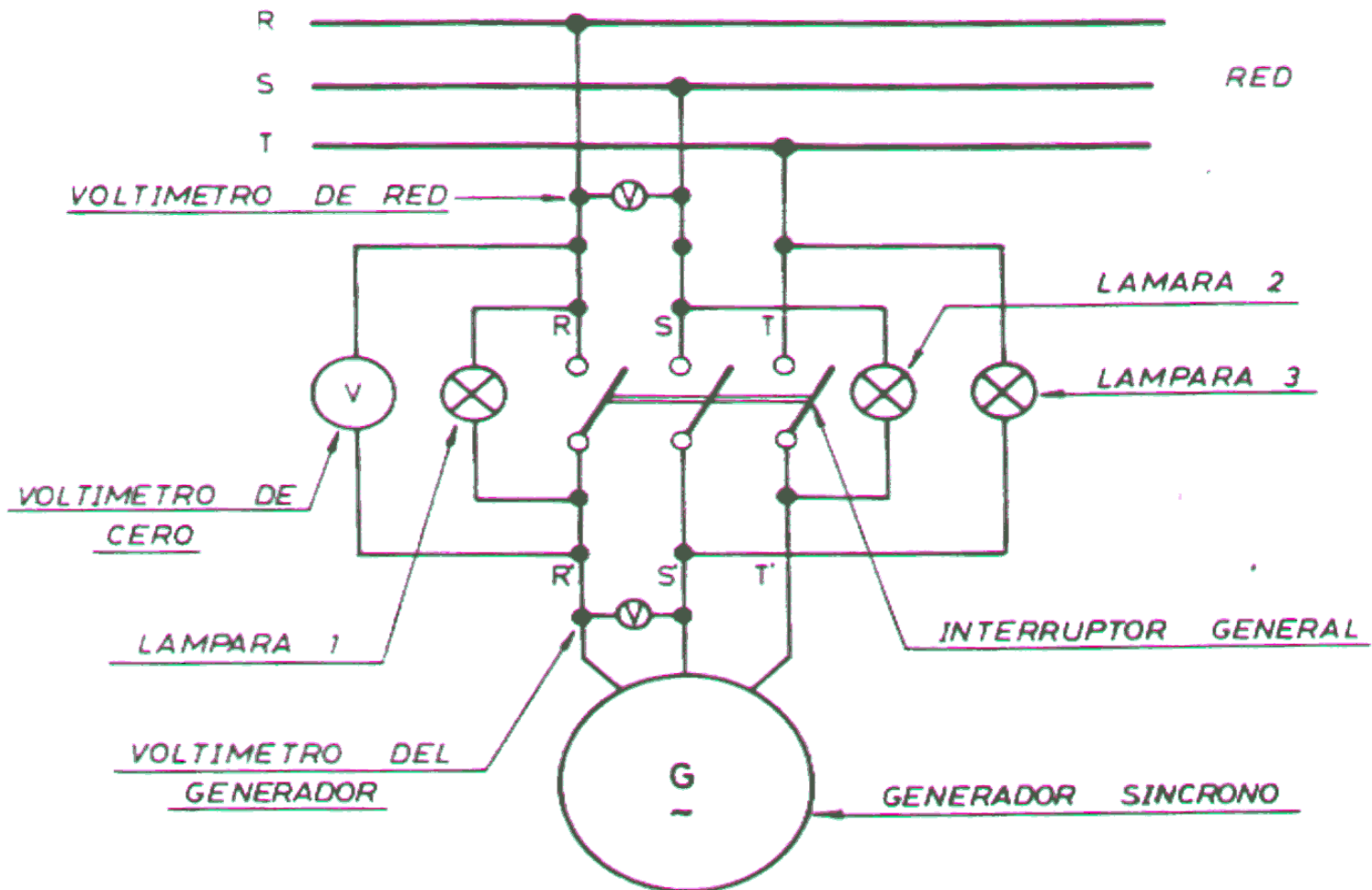


MÁQUINAS SÍNCRONAS

- Acoplamiento de alternadores.
 - Sincronoscopio.
- Acoplamiento de máquinas a una red de potencia infinita.
- Potencias activa y reactiva.
- Reguladores de velocidad.
- Regulación frecuencia-potencia.

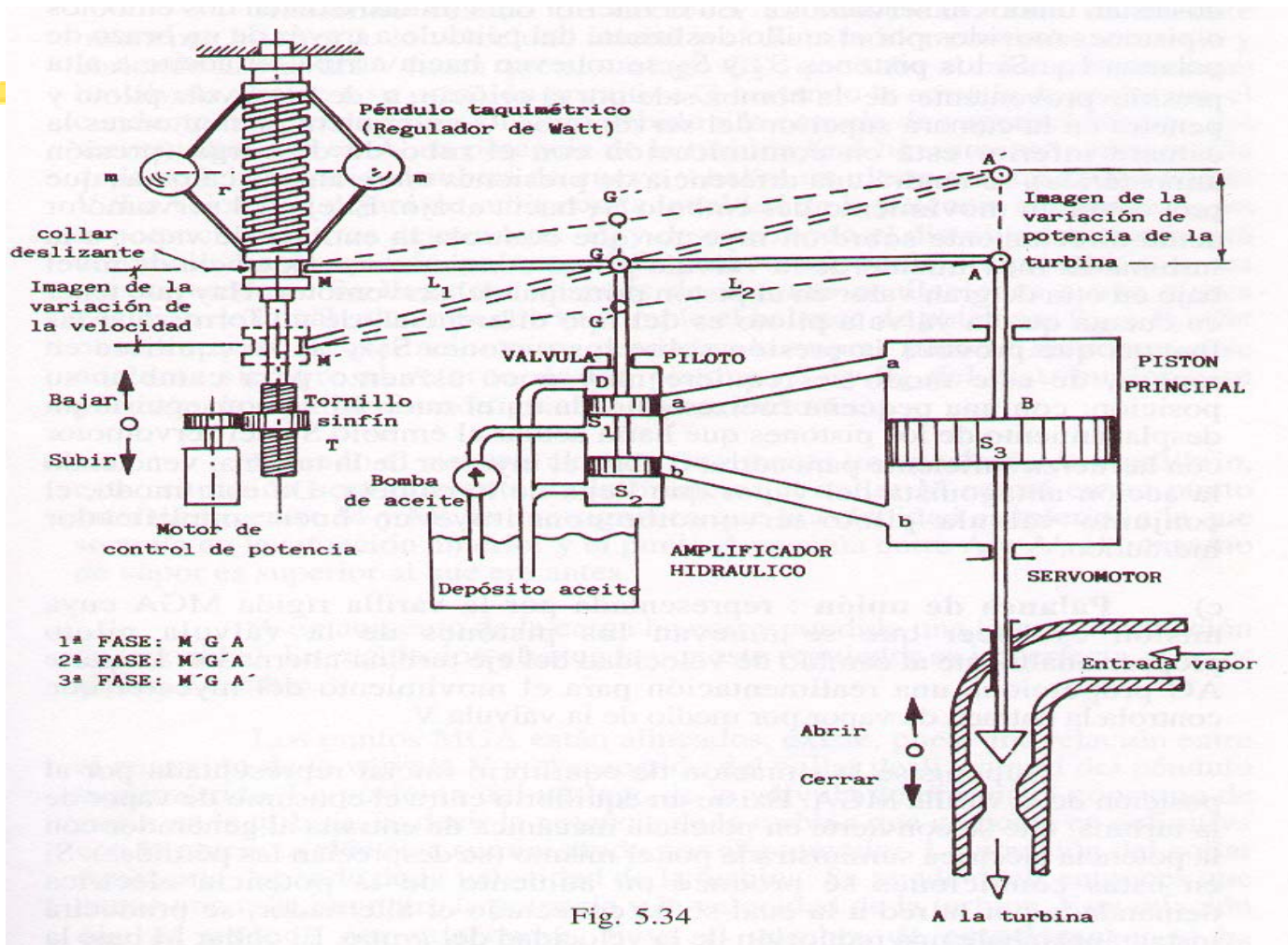


SINCRONOSCOPIO DE LÁMPARAS



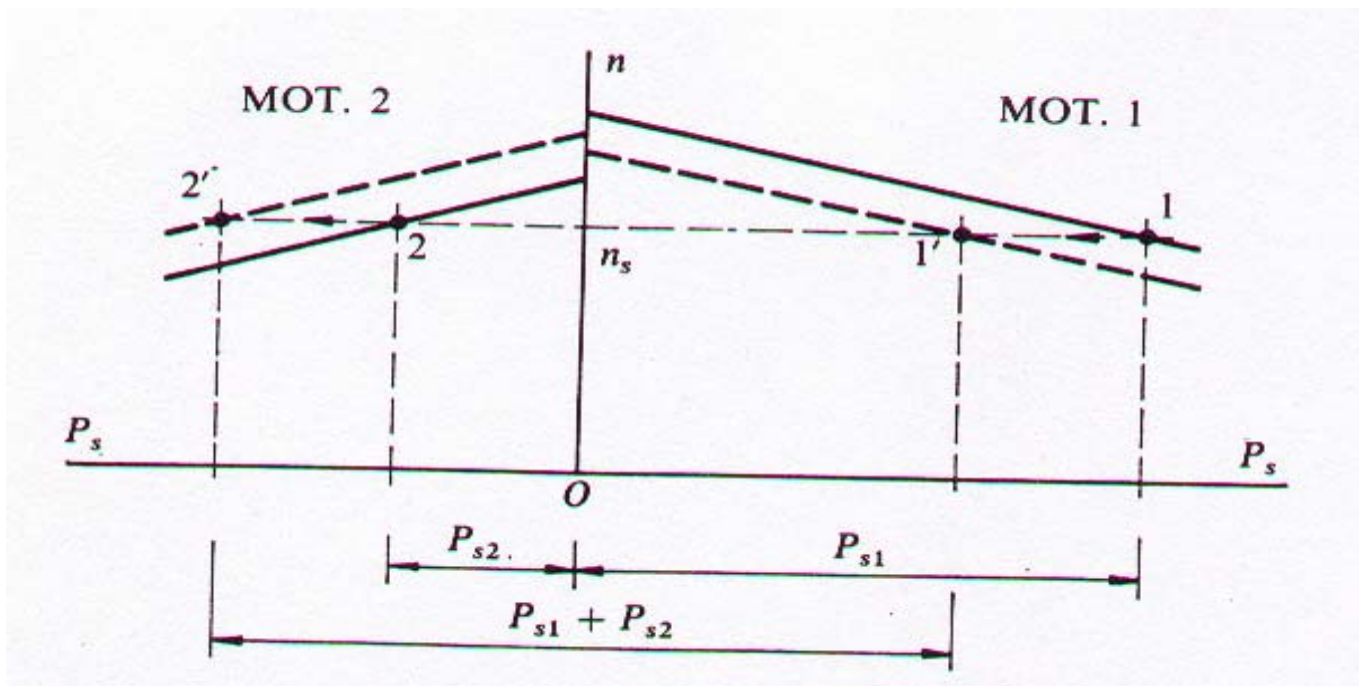


REGULADOR DE VELOCIDAD





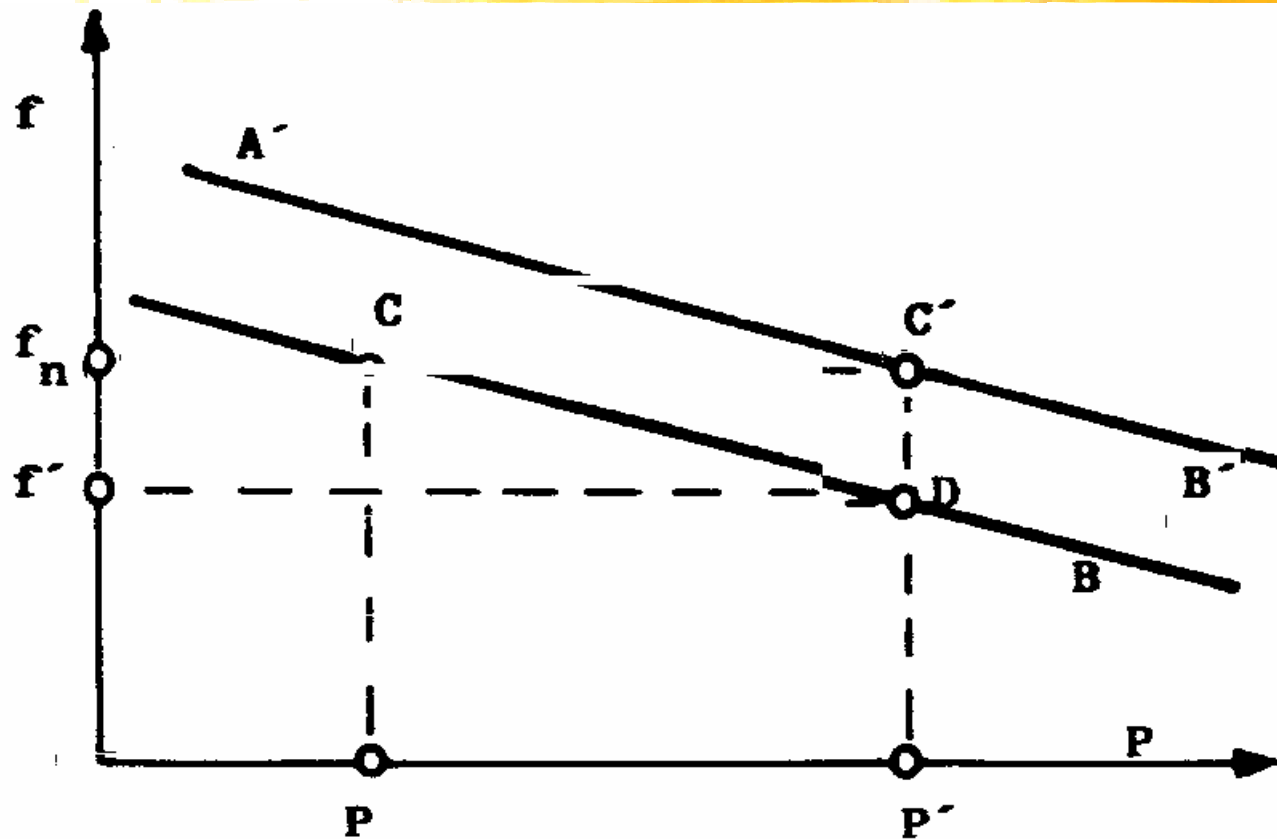
MÁQUINAS SÍNCRONAS





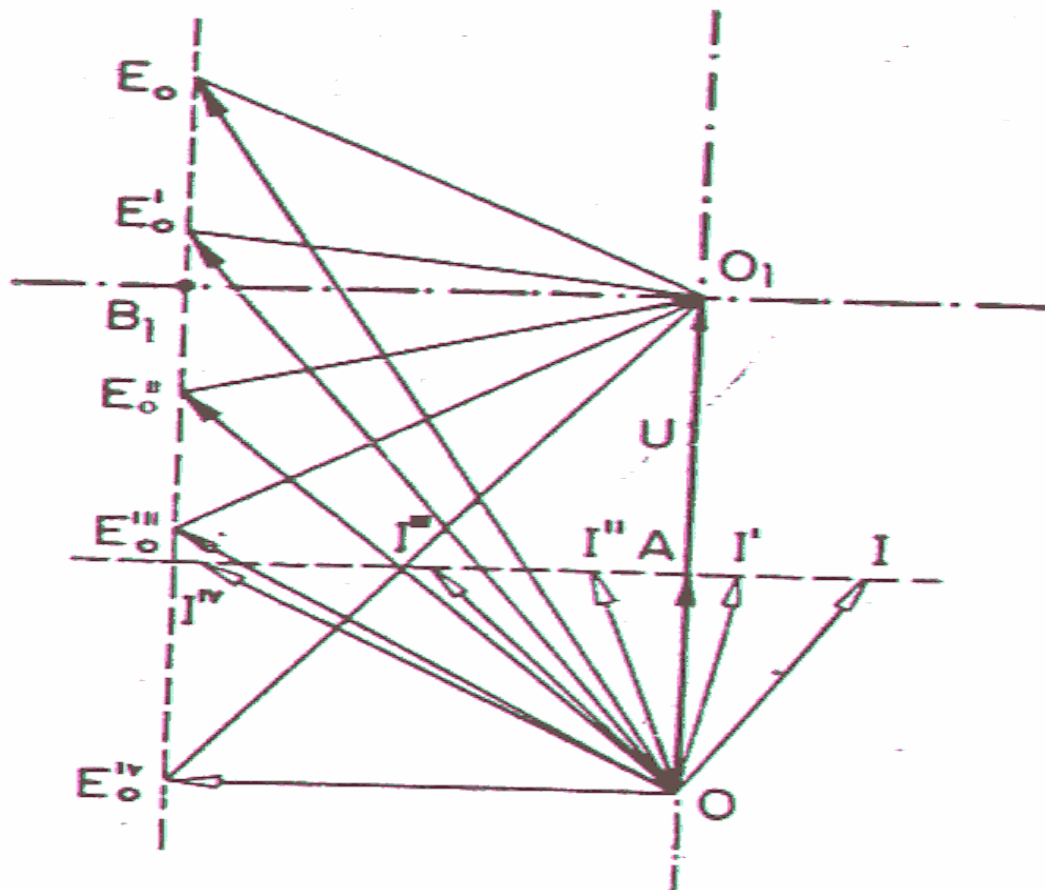
MÁQUINAS SÍNCRONAS

Regulación frecuencia-potencia





MÁQUINAS SÍNCRONAS





			km ²	m	hm ³	GWh	normal	esague	m
Aldea	Aldeadávila	Duero	73.458,00	139,50	56,60	27,00	327,83	188,00	139,83
	Urrunaga	Sta. Engracia	132,00	30,00	64,90	48,00	546,50	217,60	332,50
	Ullivarri	Zadorra	274,00	37,00	127,60	94,00	546,50		
	H. de Parzán	Barrosa							
	La Avellaneda	Urdiceto	50,90	2,00	—	—	1.410,53	1.202,50	208,00
	Barrosa	Barrosa	86,30	3,00	—	—	1.202,46	1.151,26	205,20
	Cabriana	Ebro	5.270,00	6,00	—	—	464,93	454,10	51,20
	Castro	Duero	63.196,00	53,00	21,80	12,30	564,00	522,34	9,95
la	Cernadilla	Tera	576,00	69,00	233,20	217,00	889,00	833,10	41,66
orto	Compuerto	Carrión	305,20	75,70	85,21	18,20	1.222,25	1.112,00	55,90
	Las Portas	Camba	168,30	141,00	473,00	909,00	882,00	833,10	110,25
	Edrada	Conso	46,10	23,80	0,07	—	888,00	652,00	230,00
del Pozo	Cuerda del Pozo	Duero	544,00	35,20	197,90	12,60	1.077,60	1.043,60	37,70
ja	Chandreja	Navea	146,20	85,00	60,60	105,60	910,00	843,50	66,50
								709,50	128,75
aburdón	El Duque	Aravilla	5,40	14,00	1,95	3,60	1.574,00	1.339,00	230,00
		Trampal						1.221,00	175,00
s	Guístolas	Navea	224,80	32,00	4,00	5,24	700,00	683,00	17,00
								290,00	380,40
ada	Pineta	Cinca-Barrosa	160,00	12,00	0,29	0,33	1.151,26	676,20	475,00
	Plandescun	Cinqueta	152,00	20,05	0,87	0,84	1.049,60	676,20	373,40
	Laspuña	Cinca	600,00	23,00	0,13	0,02	674,00	597,00	77,00
rado	Montefurado	Bibey	1.586,60	42,00	7,90	3,14	290,00		
	San Martín	Sil	4.430,40	28,00	3,00	1,73	290,00	255,10	34,90
libey	Bao	Bibey	725,60	107,00	210,10	273,13	652,00		
	Cea	Cea	5,00	14,50	—	—	652,20	290,00	362,00
	Moureia	Moureia	7,65	14,80	—	—	653,00		
rrá	Puentelarrá	Ebro	5.038,00	19,00	1,00	0,02	473,00	465,87	7,13
e	Cillaperiata	Ebro	4.087,00	11,50	0,30	0,04	533,00	511,00	22,00
o	Ricobayo	Esla	17.020,00	95,00	1.048,00	840,00	684,00	601,00	83,00
	—	Cinca	205,00	2,00	—	—	903,10	741,80	161,30
iban	San Esteban	Sil	7.143,40	115,00	194,80	45,60	229,00	130,00	99,00
ro	San Pedro	Sil	7.899,00	31,70	2,49	0,10	130,00	112,50	17,60
án	San Román	Duero	45.950,00	6,00	0,40	0,30	616,33	601,00	15,33
resa	Santa Teresa	Tormes	1.700,00	59,00	446,00	460,00	885,70	833,00	52,70
	Santa Eulalia	Jares	309,20	74,00	6,30	5,90	525,00	291,00	234,00
	Santiago	Sil	4.343,20	20,50	0,48	0,37	303,00	290,00	13,00
	Saucelle	Duero	73.715,00	83,00	43,35	6,32	188,00	127,15	60,85
is	Sequelros	Sil	6.143,00	22,20	6,10	1,95	255,10	237,45	17,65
								236,50	18,60
lo	Pumares	Sil	3.880,00	20,00	0,74	0,34	359,00	326,00	33,00
	Casoyo	Casoyo	150,80	21,00	0,15	—	359,00		
	Sobrón	Ebro	4.659,00	39,50	11,68	1,04	511,00	473,00	38,50
rne	Cerceda	Ebro	1.942,00	17,00	1,10	0,10	566,38	533,08	30,00
	Urdiceto	Urdiceto	1,10	25,40	5,20	15,00	2.378,79	1.952,80	426,00
zalo	Villagonzalo	Tormes	1.900,00	10,25	2,50	—	804,20	794,90	9,30
npo	Villalcampo	Duero	62.960,00	52,00	42,00	27,34	601,00	564,00	37,00
	La Almendra	Tormes	7.100,00	197,00	2.413,00	3.121,00	730,00	327,83	402,17

de Puente Bibey y Urdiceto pueden funcionar con la misma potencia en bombeo.



Núm. de grupos	TURBINAS			ALTERNADORES					Energía producible anual media	Energía garantizada anual con 95 %	CENTRAL
	Tipo	Consumo agua ple- na carga m ³ /s	Potencia nominal kW	Velocidad r.p.m.	Tensión de gene- ración kV	Inercia P D ² Tn m ²	Potencia instalada				
							kVA	kW			
6	FV	616,50	750.220	187,50	13,8	12.982,12	855.000	718.200	3.488,3	2.109,9	Aldeadávila
2	FV	30,00	87.770	500,00	9,0	442,00	100.848	83.200	160,0	160,0	Barazar
1	FH	2,50	3.857	750,00	6,0	—	4.500	3.600	17,9	15,6	Barrosa
1	FH	5,00	1.641	750,00	6,0	5,00	1.950	1.520	5,7	4,4	Bleisa
2	KV	43,60	3.532	250,00	6,0	—	4.840	3.872			Cabriana
2	FH	20,40	1.354	250,00	3,3	—	1.600	1.280			
2	FV	270,00	87.800	107,10	13,8	7.500,00	84.000	79.800	755,0	460,0	Castro
1	KV	340,00	110.032	107,10	15,0	25.000,00	122.500	110.000			Cernadilla
1	KV	60,00	30.640	250,00	6,6	823,00	37.500	30.000	81,4	37,8	
2	FH	24,00	21.320	600,00	13,8	50,00	25.000	20.000	52,0	42,3	Compuerto
3	FVr	120,00	233.385	375,00	15,0	2.150,00	285.000	228.000	168,8	141,8	Conso
2	FH	20,50	6.329	428,00	6,3	45,00	7.800	6.080	15,00	10,4	Cuerda del Pozo
2	FH	8,00	4.570	600,00	6,6	10,00	5.000	4.000	18,0	13,4	Chandreja
2	FH	9,00	11.040	750,00	6,6	22,40	13.200	10.560	60,1	42,5	San Cristobal
1	PH	0,88	1.104	500,00	6,0	—	1.280	1.024	4,7	3,1	Chorro
1	PH	0,90	1.104	500,00	6,0	—	1.280	1.024	4,5	3,1	Zaburdón
1	KV	12,00	1.457	428,60	6,6	19,50	1.750	1.400	7,1	6,0	Guístolas
2	PH	8,00	26.496	600,00	6,6	50,00	32.000	25.600			Pontenovo
2	PH	4,00	13.248	375,00	6,6	60,00	16.000	12.800	198,0	137,4	
3	PV	11,67	45.264	500,00	6,6	23,60	46.667	42.000	159,4	128,8	Cinca
2	PV	16,22	44.160	428,00	6,6	52,00	46.000	41.400	87,6	58,1	Cinqueta
2	FH	21,00	14.268	600,00	6,6	28,50	17.000	13.600	80,9	55,8	Laspuña
3	KV	135,00	41.400	300,00	6,6	267,00	48.000	38.400	211,4	175,4	Montefurado
4	FV	90,80	294.400	500,00	15,0	1.000,00	410.000	328.000	604,9	604,9	Puente Bibey
3	KHA	165,00	3.741	231,00	1,5	6,00	4.569	3.519	20,0	17,5	Puentelarrá
1	KV	48,00	7.728	250,00	13,8	338,00	10.400	7.800	36,4	33,9	Quintana
4	FV	262,00	150.144	187,50	13,8	2.950,00	148.000	133.200	637,3	558,9	Ricobayo
1	FH	2,18	2.536	1.000,00	6,0	4,00	3.000	2.400	12,1	10,7	Salinas
4	FV	300,00	287.000	214,00	15,0	4.450,00	330.000	264.000	1.064,6	702,9	San Esteban
2	KV	150,00	32.531	150,00	15,0	825,00	40.000	32.000	177,7	132,7	San Pedro
1	KV	43,00	5.888	187,50	6,6	320,00	7.000	5.600	39,6	35,0	San Román
2	FV	51,00	23.000	300,00	13,8	245,80	28.400	19.880	64,0	40,0	Santa Teresa
2	FVr	28,00	53.288	500,00	15,0	300,00	64.000	51.200	103,1	73,9	Santiago-Jares
2	KHA	154,00	16.633	158,00	3,0	155,00	18.000	14.400	52,3	40,2	Santiago-Sil
4	FV	468,00	254.656	150,00	13,8	6.100,00	300.000	285.000	1.474,1	938,5	Saucelle
1	KV	125,00	17.811	136,40	11,0	1.630,00	22.000	17.600			San Clodio
3	KV	337,50	18.878	250,00	6,6	200,00	22.500	18.000	156,7	100,5	
2	KV	160,00	43.865	187,50	11,0	1.200,00	48.000	38.400	141,8	107,7	Sobradelo
2	FV	80,00	27.232	214,30	13,8	610,00	36.000	28.800	137,0	92,0	Sobrón
2	FV	42,80	15.750	214,30	6,6	60,00	19.000	15.200	40,4	40,4	Trespaderne
2	PH	2,00	7.200	750,00	6,0	—	9.000	7.200	2,5	2,5	Urdiceto
2	KV	50,00	4.062	214,30	13,8	67,00	4.900	3.920	16,0	9,0	Villagonzalo
3	FV	303,00	99.000	125,00	13,8	4.384,00	96.000	96.000	744,3	460,0	Villalcampo
1	KV	340,00	110.032	107,10	15,0	25.000,00	122.500	110.000			Villarino
6	FVr	232,50	828.100	600,00	13,8	840,00	1.012.500	810.000	1.376,0	1.045,2	

Abreviaturas de las turbinas: F = Francis; K = Kaplan; P = Pelton; H = Horizontal; V = Vertical; A = Axial (bulbo); r = reversible.



MÁQUINAS SÍNCRONAS

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN AMPERIOS PARA CABLES AISLADOS CON CONDUCTORES DE COBRE, INSTALADOS AL AIRE (servicio permanente) $t = 40^{\circ}\text{C}$

	1 TERNO DE CABLES UNIPOLARES (1)			1 CABLE TRIPOLAR O TETRAPOLAR			2 CABLES UNIPOLARES			1 CABLE BIPOLAR		
Sección nominal (mm²)	V*	D**	R***	V*	D**	R***	V*	D**	R***	V*	D**	R***
5	16	18	18	15	17	17	22	27	27	20	25	25
5	22	26	26	21	25	25	30	36	36	26	33	33
	30	35	35	28	34	34	40	48	48	35	44	44
	38	45	46	36	43	44	50	64	64	45	58	58
	53	62	64	50	60	61	70	85	85	65	79	79
	71	83	86	65	80	82	95	115	115	85	103	103
	96	115	120	87	105	110	125	155	155	115	138	138
	115	140	145	105	130	135	155	190	190	140	170	170
	145	175	180	130	160	165	185	225	225	165	200	200
	185	225	230	165	200	210	230	280	285	205	255	255
	235	280	285	205	250	260	285	345	350	255	310	310
	275	325	335	240	290	300	330	400	405	295	360	360
	315	375	385	275	335	350	375	455	465	340	410	415
	365	440	450	315	385	400	430	525	535	390	475	485
	435	515	535	370	460	475	505	615	630	460	560	565
	500	595	615	425	520	545	580	710	730	535	650	660
	585	700	720	495	610	645	665	815	840	620	760	770
	665	800	825	—	—	—	760	915	950	—	—	—
	765	915	950	—	—	—	880	1.080	1.100	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

de aislamiento: * V = Policloruro de vinilo. ** D = Etileno-propileno. *** R = Polietileno reticulado.
incluye, además, el conductor neutro, si existe.



MÁQUINAS SÍNCRONAS

CONDUCTORES NORMALIZADOS PARA LINEAS AEREAS (NORMAS UNE 21.016 Y UNE 21.018)							
DENOMINACION	Diám. (mm) Secc (mm ²)	Nº hilos Al + Ac	Resist. eléctrica a 20°C (Ω/km)	Carga rotura (kg)	Peso (kg/m)	Módulo Elastic. (kg/mm ²)	Coefic. dilatac. X 10 ⁻⁶
LA - 20	5,4 mm 17,8 mm ²	6 + 1	1,880	591	0,062	8100	19,1
LA - 28	6,72 mm 27,6 mm ²	6 + 1	1,215	906	0,096	8100	19,1
LA - 30	7,137 mm 31,1 mm ²	6 + 1	1,080	1023	0,108	8100	19,1
LA - 40	8,40 mm 43,1 mm ²	6 + 1	0,778	1400	0,150	8100	19,1
LA - 56	9,45 mm 54,6 mm ²	6 + 1	0,614	1666	0,190	8100	19,1
LA - 80	11,20 mm 74,4 mm ²	30 + 7	0,480	2839	0,277	8200	17,8
LA - 110	14,00 mm 116,20 mm ²	30 + 7	0,307	4398	0,433	8200	17,8