Sumari

SUMARI 1

GLOSSARI 3

A. CÀLCULS DE SELECCIÓ DE L'ACCIONAMENT 7

B. ESTUDI DE LA CINEMÀTICA DEL MECANISME PISTÓ-BIELA-MANOVELLA 21

C. SELECCIÓ DE RÒTULES 23

C.1. Càlcul del tamany del cap de ròtula 23

C.2. Càlcul de duració de vida 25

D. CÀLCULS A VINCLAMENT 27

D.1. Càlcul a vinclament de les columnes 28

D.2. Càlcul a vinclament de la barra central roscada 30

D.3. Càlcul a vinclament de la biela 32

E. ESTUDI DE LES UNIONS CARGOLADES 35

E.1. Unió de la barra central roscada 35

E.2. Unió cargolada de les columnes amb el suport superior 40

E.3. Unió cargolada de les columnes amb la bancada 44

E.4. Unió cargolada del disc amb el botó 45

F. TRANSMISSIÓ DE FORCES A TERRA. DISSENY D'UN AÏLLAMENT ELÀSTIC 51

G. ESTUDI ECONÒMIC 59

G.1. Cost dels components de sèrie 59

G.1.1. Elements de l'accionament 60

G.1.2. Elements estructurals 60

G.1.3. Elements de fixació 61

G.1.4. Sensors 62

G.1.5. Altres elements 63

G.1.6. Cost total dels components de sèrie 64

G.2. Cost dels components de disseny 65

G.2.1. Cost del material 65

G.2.2. Cost de fabricació 68
G.2.3. Cost total dels components de disseny 71
G.3. Cost d'enginyeria 72
G.3.1. Cost de recursos humans d'enginyeria 72
G.3.2. Cost de recursos materials d'enginyeria 73
G.3.3. Cost total d'enginyeria 74
G.4. Cost total del banc d'assaig 75

H. CATÀLEGS 77
H.1. Perfil IPN160 Celsa 77
H.2. Silent blocks EDDO Comfort SG70 79
H.3. Motorreductor Bonfiglioli C612P 15,9 S4 B3 M4SA4 81
H.4. Variador de freqüència de control vectorial Bonfiglioli ACT401-019 91
H.5. Caps de ròtula ELGES DIN648 GAKKR14 101
H.6. Coixinets antifricció amb valona SELFOIL 125
H.7. Tubs d'acer 127
H.8. Cèl·lula de càrrega Magtrol ZP-S 10kN 129
H.9. Sensor de desplaçament LVDT Micro Epsilon LVP-200 133
H.10. Sensor de temperatura RDT MINCO S100725 137

Glossari

c : coeficient d'amortiment

c : relació de rigideses (càlcul d'unions cargolades)

d_e : distància entre cares d'un cargol

d_f : diàmetre del forat de l'allotjament d'un cargol

d_K : diàmetre de l'esfera del cap de ròtula

f : freqüència

f_0 : freqüència pròpia del sistema

f_{exc} : freqüència d'excitació

f_b : factor de càrrega (cap de ròtula)

f_1 : factor de direcció de càrrega (cap de ròtula)

f_2 : factor de temperatura (cap de ròtula)

f_3 : factor del tipus de ròtula (cap de ròtula)

i : relació de reducció

i : nivell d'acció de la força separadora (càlcul d'unions cargolades)

$i_{mín}$: radi de gir mínim

k : rigidesa del sistema

k_c : rigidesa del cargol

k_p : rigidesa de les peces

l : longitud de la biela

l_p : gruix de les peces comprimides

m' : massa alternativa del mecanisme pistó-biela-manovella

$n_{entrada}$: freqüència de gir d'entrada

n_{nom} : freqüència nominal

n_{sincr} : freqüència de sincronisme

$n_{sortida}$: freqüència de gir de sortida

p : pressió en el suport (càlcul de ròtules)

r : radi de manovella

t : temps

v : velocitat lineal de l'amortidor

v : velocitat de lliscament (càlcul de ròtules)

x : coordenada de posició del pistó en el mecanisme pistó-biela-manovella

x_p : amplitud de vibracions

C : capacitat de càrrega dinàmica

C_0 : capacitat de càrrega estàtica del cap de la ròtula

C_s : coeficient de seguretat al lliscament (unions cargolades)

C_s : coeficient de seguretat a fatiga (unions cargolades)

D_d : longitud de les peces que es comprimeixen

E : mòdul de Young o d'elasticitat

F_a : força de l'amortidor

$F_{M\ lim}$: força de muntatge límit (unions cargolades)

$F_{M\ mín}$: força de muntatge mínima (unions cargolades)

$F_{M\ màx}$: força de muntatge màxima (unions cargolades)

$F_{s\ màx}$: força separadora màxima (unions cargolades)

$F_{s\,mín}$: força separadora mínima (unions cargolades)

F_f : força de fregament

K : coeficient específic de càrrega (cap de ròtula)

L : longitud de vinclament

L : número d'oscil·lacions

L_h : número d'oscil·lacions en hores

M_M : moment de muntatge màxim

P : càrrega equivalent sobre la ròtula

P_{nom} : potència nominal del motor

P_{adm} : càrrega admissible

R_m : resistència a la tracció

R_e : límit elàstic

W : potència dissipada per l'amortidor

α : coordenada d'angle del mecanisme pistó-biela-manovella

α_c : factor de collada

β : angle d'oscil·lació de la ròtula

δ_x : assentament

η : rendiment

φ : coordenada d'angle del mecanisme pistó-biela-manovella

λ : esveltesa (càlcul a vinclament)

μ : coeficient de frec

μ_G : coeficient de frec al cargol

ρ : raó de freqüència

σ : tensió

σ_a : tensió alternativa

σ_{adm} : tensió admissible

ω : freqüència angular

ω : coeficient omega (càlcul a vinclament)

ξ : raó d'esmorteïment

$\Gamma_{arrencada}$: parell d'arrencada

Γ_{motor} : parell del motor

$\Gamma_{motor\ màx}$: parell motor màxim

$\Gamma_{motor\ nom}$: parell motor nominal

$\Gamma_{motor\ nom\ entrada}$: parell motor nominal d'entrada

$\Gamma_{motor\ nom\ sortida}$: parell motor nominal de sortida

Γ_{res} : parell resistent

$\Gamma_{res\ màxim}$: parell resistent màxim

$\Gamma_{res\ RMS}$: parell resistent RMS

A. Càlculs de selecció de l'accionament

Inicialment es va plantejar fer l'accionament utilitzant un motor de dues velocitats amb variador de freqüència. No obstant, la selecció de velocitats és complicada i hi havia casos en que es podien solapar els rangs de freqüència.

Per tant, es va descartar la opció d'un motor de dues velocitats i es va decidir treballar amb motors asíncrons d'una sola velocitat. Es van realitzar càlculs amb motors de diferents parells de pols.

Finalment, l'accionament escollit per incorporar al banc d'assaig consisteix en un motorreductor de 2 parells de pols (freqüència de sincronisme de 1500 min^{-1}) amb una reducció de i = 15,9 juntament amb un variador de freqüència.

Les característiques del motorreductor escollit de la marca Bonfiglioli es poden veure en la Taula A.1.

Motor M4SA4	
Freqüència de sincronisme n_{sincr}	1500 min^{-1}
Potència nominal P	5,5 kW
Freqüència nominal n_{nom}	1440 min^{-1}
Rendiment η	84%
Parell nominal Γ_{nom}	36 Nm
$\Gamma_{arrancada} / \Gamma_{nom}$	2,2
$\Gamma_{màxim} / \Gamma_{nom}$	2,3

Taula A.1. Característiques del motor M4SA4 del motorreductor

La freqüència nominal del motor M4SA4 és de 1440 min^{-1} i el seu parell nominal de 36 Nm. Aplicant la reducció i = 15,9 que incorpora el motorreductor s'obté una freqüència de sortida (Eq. A.1) de:

$$n_{sortida} = \frac{n_{entrada}}{i} = \frac{1440\,\text{min}^{-1}}{15{,}9} = 90{,}56\,\text{min}^{-1} \qquad \text{(Eq. A.1)}$$

El parell es calcula per conservació de potència aplicant un rendiment mecànic en la reducció de η = 0,95 , es pot escriure (Eq. A.2):

$$\Gamma_{\substack{nom\\entrada}} \cdot n_{\substack{nom\\entrada}} \cdot \eta = \Gamma_{\substack{nom\\sortida}} \cdot n_{\substack{nom\\sortida}} \qquad \text{(Eq. A.2)}$$

$$\Rightarrow \Gamma_{\substack{nom\\sortida}} = \frac{\Gamma_{\substack{nom\\entrada}} \cdot n_{\substack{nom\\entrada}} \cdot \eta}{n_{\substack{nom\\sortida}}} = 543{,}78\text{Nm}$$

Amb el variador de freqüència es poden aconseguir velocitats que van de 0,3 a 2 vegades la velocitat nominal de sortida del motor.

Si s'observa la característica d'un variador de freqüència per a un motor autoventilat, el parell es manté idealment constant entre la velocitat nominal i 0,5 vegades la nominal. Per velocitats inferiors a 0,5 vegades la nominal, el parell disminueix de la manera en que es pot apreciar a la Figura A.1. Finalment, per velocitats superiors a la nominal és la potència la que es manté constant.

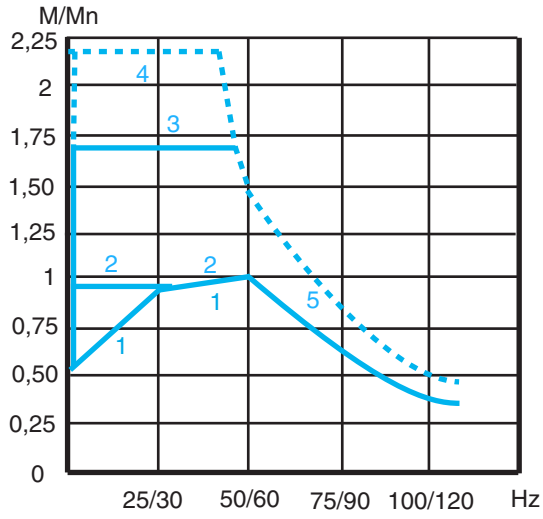


Figura A.1. Característica d'un variador de control vectorial en llaç obert
1. Motor autoventilat
2. Motor motoventilat
3. Sobreparell durant 60s com a màxim
4. Sobreparell transitori durant 2s com a màx.
5. Parell en sobrevelocitat, potència constant

En el següent esquema es pot veure el rang final de freqüències que s'aconsegueixen (Figura A.2):

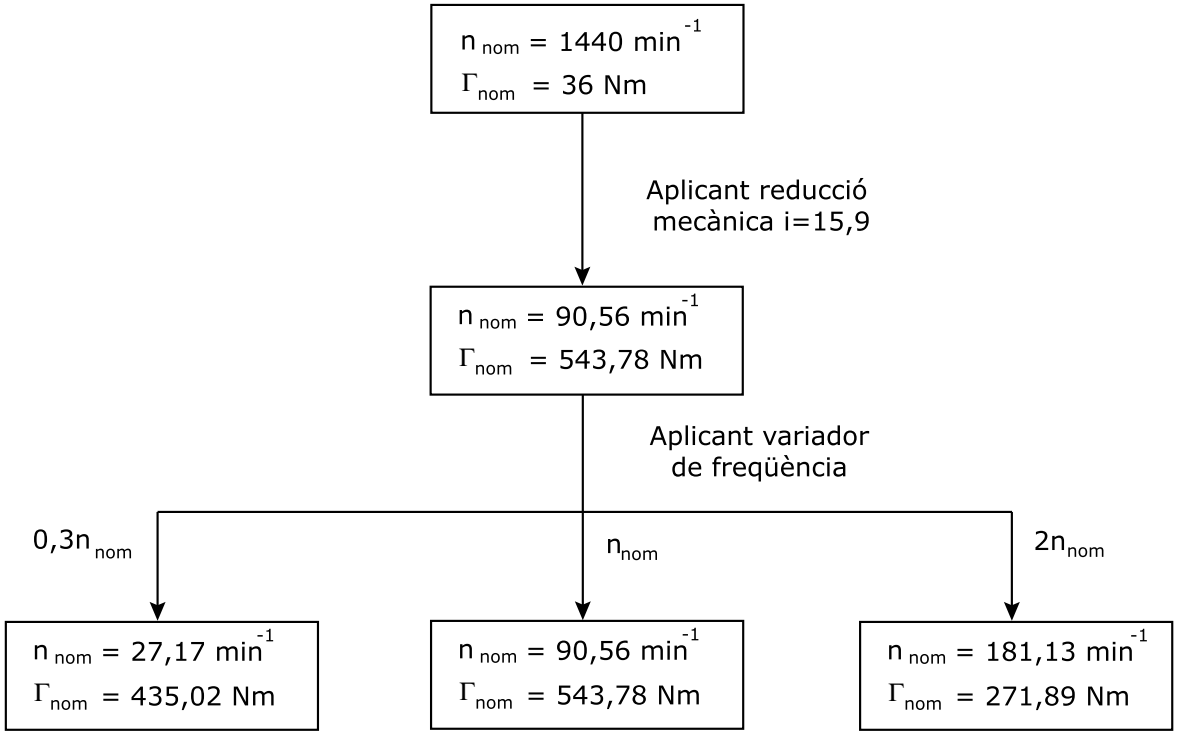


Figura A.2. Esquema del rang de freqüències que s'assoleix

Amb aquest motorreductor i variador, del rang de freqüències inicialment plantejat de 0,3 Hz a 6,3 Hz (o el que és el mateix, de 18 a 378 min^{-1}) només es podrà cobrir el rang entre 0,5 Hz a 2,9 Hz, el que correspon a freqüències de gir de 30 min^{-1} a 174 min^{-1}.

D'altra banda s'ha de comprovar que la potència del motor sigui suficient. A l'apartat 5.3 de la memòria s'havia comentat que seria necessari un motor de 7,5 kW de potència. No obstant, finalment s'ha optat per un motor de 5,5 kW ja que la limitació del rang de freqüència també fa baixar la potència necessària.

El càlcul de la potència necessària es realitzarà per cada un dels radis de la manovella. D'aquesta manera es veurà també quines possibilitats d'assaig es poden cobrir i quines velocitats lineals es poden aconseguir.

Existeixen 16 radis de manovella diferents que van de 25 mm a 100 mm amb increments de 5 mm, el que permet assajar amortidors de 50 mm a 200 mm de cursa. Cada radi de manovella es combinarà amb el rang de freqüències de 0,5 Hz a 2,9 Hz, i es calcularà:

- Velocitat lineal de la peça que fa de pistó (Eq. A.3):

$$v = r \cdot \omega = r \cdot (2\pi f) \qquad \text{(Eq. A.3)}$$

- Força de l'amortidor considerant *c* = 5500 N/(m/s) (Eq. A.4):

$$F_a = c \cdot v \qquad \text{(Eq. A.4)}$$

- potència de l'amortidor (Eq. A.5):

$$W = F_a \cdot v \qquad \text{(Eq. A.5)}$$

- Parell màxim receptor (Eq. A.6):

$$\Gamma_{\substack{recep \\ màxim}} = F_a \cdot r \qquad \text{(Eq. A.6)}$$

- Parell RMS receptor (Eq. A.7):

$$\Gamma_{\substack{res \\ RMS}} = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{3}{\pi}} \cdot \left(c\,\omega\, r^2 \right) \qquad \text{(Eq. A.7)}$$

- Parell motor reduït a l'eix de sortida (segons Figura A.1)

Cal tenir present que no s'han considerat alhora de fer els càlculs forces gravitatòries ni de fricció. Cal doncs preveure una certa potència addicional i per tant, tots aquells casos que tinguin potències superiors a 4,8 kW no es podran assolir amb el motor de 5,5 kW.

A continuació es presenten els resultats obtinguts (Taules A.2a – A.2p). En color blau es troben marcats aquells casos on la potència necessària és superior a 4,8 kW i per tant, no es poden assajar.

R manovella = 25 mm (Cursa = 50 mm)						
Freq. (Hz)	**v pistó (mm/s)**	**F amortidor (N)**	**Potència màx. amortidor (W)**	**Γ receptor màx. (Nm)**	**Γ receptor RMS (Nm)**	**Γ motor reduït (Nm)**
0,5	78,54	431,97	33,93	10,80	2,64	543,78
0,7	109,96	604,76	66,50	15,12	3,69	543,78
0,9	141,37	777,54	109,92	19,44	4,75	543,78
1,1	172,79	950,33	164,21	23,76	5,80	543,78
1,3	204,20	1123,12	229,34	28,08	6,86	543,78
1,5	235,62	1295,91	305,34	32,40	7,91	543,78
1,7	267,04	1468,69	392,19	36,72	8,97	482,82
1,9	298,45	1641,48	489,90	41,04	10,03	432,00
2,1	329,87	1814,27	598,47	45,36	11,08	390,86
2,3	361,28	1987,06	717,89	49,68	12,14	356,87
2,5	392,70	2159,84	848,17	54,00	13,19	328,32
2,7	424,12	2332,63	989,30	58,32	14,25	304,00
2,9	455,53	2505,42	1141,30	62,64	15,30	283,03
R manovella = 30 mm (Cursa = 60 mm)						
Freq. (Hz)	**v pistó (mm/s)**	**F amortidor (N)**	**Potència màx. amortidor (W)**	**Γ receptor màx. (Nm)**	**Γ receptor RMS (Nm)**	**Γ motor reduït (Nm)**
0,5	94,25	518,36	48,85	15,55	3,80	543,78
0,7	131,95	725,71	95,75	21,77	5,32	543,78
0,9	169,65	933,05	158,29	27,99	6,84	543,78
1,1	207,35	1140,40	236,46	34,21	8,36	543,78
1,3	245,04	1347,74	330,26	40,43	9,88	543,78
1,5	282,74	1555,09	439,69	46,65	11,40	543,78
1,7	320,44	1762,43	564,76	52,87	12,92	482,82
1,9	358,14	1969,78	705,46	59,09	14,44	432,00
2,1	395,84	2177,12	861,79	65,31	15,96	390,86
2,3	433,54	2384,47	1033,76	71,53	17,48	356,87
2,5	471,24	2591,81	1221,36	77,75	19,00	328,32
2,7	508,94	2799,16	1424,60	83,97	20,52	304,00
2,9	546,64	3006,50	1643,47	90,20	22,03	283,03

Taula A.2a-b. Resultats per un radi de manovella de 25 mm i 30 mm

R manovella = 35 mm (Cursa = 70 mm)						
Freq. (Hz)	**v pistó (mm/s)**	**F amortidor (N)**	**Potència màx. amortidor (W)**	**Γ receptor màx. (Nm)**	**Γ receptor RMS (Nm)**	**Γ motor reduït (Nm)**
0,5	109,96	604,76	66,50	21,17	5,17	543,78
0,7	153,94	846,66	130,33	29,63	7,24	543,78
0,9	197,92	1088,56	215,45	38,10	9,31	543,78
1,1	241,90	1330,46	321,84	46,57	11,38	543,78
1,3	285,88	1572,37	449,52	55,03	13,44	543,78
1,5	329,87	1814,27	598,47	63,50	15,51	543,78
1,7	373,85	2056,17	768,70	71,97	17,58	482,82
1,9	417,83	2298,08	960,21	80,43	19,65	432,00
2,1	461,81	2539,98	1173,00	88,90	21,72	390,86
2,3	505,80	2781,88	1407,07	97,37	23,79	356,87
2,5	549,78	3023,78	1662,41	105,83	25,85	328,32
2,7	593,76	3265,69	1939,04	114,30	27,92	304,00
2,9	637,74	3507,59	2236,94	122,77	29,99	283,03
R manovella = 40 mm (Cursa = 80 mm)						
Freq. (Hz)	**v pistó (mm/s)**	**F amortidor (N)**	**Potència màx. amortidor (W)**	**Γ receptor màx. (Nm)**	**Γ receptor RMS (Nm)**	**Γ motor reduït (Nm)**
0,5	125,66	691,15	86,85	27,65	6,75	543,78
0,7	175,93	967,61	170,23	38,70	9,46	543,78
0,9	226,19	1244,07	281,40	49,76	12,16	543,78
1,1	276,46	1520,53	420,37	60,82	14,86	543,78
1,3	326,73	1796,99	587,12	71,88	17,56	543,78
1,5	376,99	2073,45	781,67	82,94	20,26	543,78
1,7	427,26	2349,91	1004,02	94,00	22,96	482,82
1,9	477,52	2626,37	1254,15	105,05	25,67	432,00
2,1	527,79	2902,83	1532,08	116,11	28,37	390,86
2,3	578,05	3179,29	1837,80	127,17	31,07	356,87
2,5	628,32	3455,75	2171,31	138,23	33,77	328,32
2,7	678,58	3732,21	2532,62	149,29	36,47	304,00
2,9	728,85	4008,67	2921,72	160,35	39,17	283,03

Taula A.2c-d. Resultats per un radi de manovella de 35 mm i 40 mm

R manovella = 45 mm (Cursa = 90 mm)						
Freq. (Hz)	**v pistó (mm/s)**	**F amortidor (N)**	**Potència màx. amortidor (W)**	**Γ receptor màx. (Nm)**	**Γ receptor RMS (Nm)**	**Γ motor reduït (Nm)**
0,5	141,37	777,54	109,92	34,99	8,55	543,78
0,7	197,92	1088,56	215,45	48,99	11,97	543,78
0,9	254,47	1399,58	356,15	62,98	15,39	543,78
1,1	311,02	1710,60	532,03	76,98	18,81	543,78
1,3	367,57	2021,61	743,08	90,97	22,22	543,78
1,5	424,12	2332,63	989,30	104,97	25,64	543,78
1,7	480,66	2643,65	1270,71	118,96	29,06	482,82
1,9	537,21	2954,67	1587,28	132,96	32,48	432,00
2,1	593,76	3265,69	1939,04	146,96	35,90	390,86
2,3	650,31	3576,70	2325,96	160,95	39,32	356,87
2,5	706,86	3887,72	2748,07	174,95	42,74	328,32
2,7	763,41	4198,74	3205,35	188,94	46,16	304,00
2,9	819,96	4509,76	3697,80	202,94	49,58	283,03
R manovella = 50 mm (Cursa = 100 mm)						
Freq. (Hz)	**v pistó (mm/s)**	**F amortidor (N)**	**Potència màx. amortidor (W)**	**Γ receptor màx. (Nm)**	**Γ receptor RMS (Nm)**	**Γ motor reduït (Nm)**
0,5	157,08	863,94	135,71	43,20	10,55	543,78
0,7	219,91	1209,51	265,99	60,48	14,77	543,78
0,9	282,74	1555,09	439,69	77,75	19,00	543,78
1,1	345,58	1900,66	656,82	95,03	23,22	543,78
1,3	408,41	2246,24	917,38	112,31	27,44	543,78
1,5	471,24	2591,81	1221,36	129,59	31,66	543,78
1,7	534,07	2937,39	1568,77	146,87	35,88	482,82
1,9	596,90	3282,96	1959,61	164,15	40,10	432,00
2,1	659,73	3628,54	2393,87	181,43	44,32	390,86
2,3	722,57	3974,11	2871,56	198,71	48,54	356,87
2,5	785,40	4319,69	3392,68	215,98	52,77	328,32
2,7	848,23	4665,27	3957,22	233,26	56,99	304,00
2,9	911,06	5010,84	4565,19	250,54	61,21	283,03

Taula A.2e-f. Resultats per un radi de manovella de 45 mm i 50 mm

R manovella = 55 mm (Cursa = 110 mm)						
Freq. (Hz)	v pistó (mm/s)	F amortidor (N)	Potència màx. amortidor (W)	Γ receptor màx. (Nm)	Γ receptor RMS (Nm)	Γ motor reduït (Nm)
0,5	172,79	950,33	164,21	52,27	12,77	543,78
0,7	241,90	1330,46	321,84	73,18	17,88	543,78
0,9	311,02	1710,60	532,03	94,08	22,98	543,78
1,1	380,13	2090,73	794,75	114,99	28,09	543,78
1,3	449,25	2470,86	1110,03	135,90	33,20	543,78
1,5	518,36	2851,00	1477,85	156,80	38,31	543,78
1,7	587,48	3231,13	1898,22	177,71	43,42	482,82
1,9	656,59	3611,26	2371,13	198,62	48,52	432,00
2,1	725,71	3991,39	2896,59	219,53	53,63	390,86
2,3	794,82	4371,53	3474,59	240,43	58,74	356,87
2,5	863,94	4751,66	4105,14	261,34	63,85	328,32
2,7	933,05	5131,79	4788,23	282,25	68,95	304,00
2,9	1002,17	5511,92	5523,87	303,16	74,06	283,03
R manovella = 60 mm (Cursa = 120 mm)						
Freq. (Hz)	v pistó (mm/s)	F amortidor (N)	Potència màx. amortidor (W)	Γ receptor màx. (Nm)	Γ receptor RMS (Nm)	Γ motor reduït (Nm)
0,5	188,50	1036,73	195,42	62,20	15,20	451,89
0,7	263,89	1451,42	383,02	87,08	21,27	523,89
0,9	339,29	1866,11	633,15	111,97	27,35	543,78
1,1	414,69	2280,80	945,82	136,85	33,43	543,78
1,3	490,09	2695,49	1321,03	161,73	39,51	543,78
1,5	565,49	3110,18	1758,76	186,61	45,59	543,78
1,7	640,88	3524,87	2259,03	211,49	51,67	482,82
1,9	716,28	3939,56	2821,84	236,37	57,75	432,00
2,1	791,68	4354,25	3447,18	261,25	63,82	390,86
2,3	867,08	4768,94	4135,05	286,14	69,90	356,87
2,5	942,48	5183,63	4885,45	311,02	75,98	328,32
2,7	1017,88	5598,32	5698,39	335,90	82,06	304,00
2,9	1093,27	6013,01	6573,87	360,78	88,14	283,03

Taula A.2g-h. Resultats per un radi de manovella de 55 mm i 60 mm

R manovella = 65 mm (Cursa = 130 mm)						
Freq. (Hz)	**v pistó (mm/s)**	**F amortidor (N)**	**Potència màx. amortidor (W)**	**Γ receptor màx. (Nm)**	**Γ receptor RMS (Nm)**	**Γ motor reduït (Nm)**
0,5	204,20	1123,12	229,34	73,00	17,83	451,89
0,7	285,88	1572,37	449,52	102,20	24,97	523,89
0,9	367,57	2021,61	743,08	131,40	32,10	543,78
1,1	449,25	2470,86	1110,03	160,61	39,24	543,78
1,3	530,93	2920,11	1550,37	189,81	46,37	543,78
1,5	612,61	3369,36	2064,10	219,01	53,50	543,78
1,7	694,29	3818,61	2651,23	248,21	60,64	482,82
1,9	775,97	4267,85	3311,74	277,41	67,77	432,00
2,1	857,65	4717,10	4045,64	306,61	74,91	390,86
2,3	939,34	5166,35	4852,94	335,81	82,04	356,87
2,5	1021,02	5615,60	5733,62	365,01	89,17	328,32
2,7	1102,70	6064,84	6687,70	394,21	96,31	304,00
2,9	1184,38	6514,09	7715,16	423,42	103,44	283,03
R manovella = 70 mm (Cursa = 140 mm)						
Freq. (Hz)	**v pistó (mm/s)**	**F amortidor (N)**	**Potència màx. amortidor (W)**	**Γ receptor màx. (Nm)**	**Γ receptor RMS (Nm)**	**Γ motor reduït (Nm)**
0,5	219,91	1209,51	265,99	84,67	20,68	451,89
0,7	307,88	1693,32	521,33	118,53	28,96	523,89
0,9	395,84	2177,12	861,79	152,40	37,23	543,78
1,1	483,81	2660,93	1287,37	186,27	45,50	543,78
1,3	571,77	3144,73	1798,06	220,13	53,78	543,78
1,5	659,73	3628,54	2393,87	254,00	62,05	543,78
1,7	747,70	4112,34	3074,80	287,86	70,33	482,82
1,9	835,66	4596,15	3840,84	321,73	78,60	432,00
2,1	923,63	5079,95532	4691,99	355,60	86,87	390,86
2,3	1011,59	5563,76059	5628,26	389,46	95,15	356,87
2,5	1099,56	6047,56586	6649,65	423,33	103,42	328,32
2,7	1187,52	6531,37113	7756,15	457,20	111,69	304,00
2,9	1275,49	7015,1764	8947,76	491,06	119,97	283,03

Taula A.2i-j. Resultats per un radi de manovella de 65 mm i 70 mm

R manovella = 75 mm (Cursa = 150 mm)						
Freq. (Hz)	v pistó (mm/s)	F amortidor (N)	Potència màx. amortidor (W)	Γ receptor màx. (Nm)	Γ receptor RMS (Nm)	Γ motor reduït (Nm)
0,5	235,62	1295,91	305,34	97,19	23,74	451,89
0,7	329,87	1814,27	598,47	136,07	33,24	523,89
0,9	424,12	2332,63	989,30	174,95	42,74	543,78
1,1	518,36	2851,00	1477,85	213,82	52,24	543,78
1,3	612,61	3369,36	2064,10	252,70	61,74	543,78
1,5	706,86	3887,72	2748,07	291,58	71,23	543,78
1,7	801,11	4406,08	3529,74	330,46	80,73	482,82
1,9	895,35	4924,45	4409,12	369,33	90,23	432,00
2,1	989,60	5442,81	5386,21	408,21	99,73	390,86
2,3	1083,85	5961,17	6461,01	447,09	109,22	356,87
2,5	1178,10	6479,53	7633,52	485,97	118,72	328,32
2,7	1272,35	6997,89	8903,74	524,84	128,22	304,00
2,9	1366,59	7516,26	10271,67	563,72	137,72	283,03
R manovella = 80 mm (Cursa = 160 mm)						
Freq. (Hz)	v pistó (mm/s)	F amortidor (N)	Potència màx. amortidor (W)	Γ receptor màx. (Nm)	Γ receptor RMS (Nm)	Γ motor reduït (Nm)
0,5	251,33	1382,30	347,41	110,58	27,02	451,89
0,7	351,86	1935,22	680,92	154,82	37,82	523,89
0,9	452,39	2488,14	1125,61	199,05	48,63	543,78
1,1	552,92	3041,06	1681,46	243,28	59,43	543,78
1,3	653,45	3593,98	2348,49	287,52	70,24	543,78
1,5	753,98	4146,90	3126,69	331,75	81,05	543,78
1,7	854,51	4699,82	4016,06	375,99	91,85	482,82
1,9	955,04	5252,74292	5016,60	420,22	102,66	432,00
2,1	1055,58	5805,66322	6128,31	464,45	113,47	390,86
2,3	1156,11	6358,58353	7351,20	508,69	124,27	356,87
2,5	1256,64	6911,50384	8685,25	552,92	135,08	328,32
2,7	1357,17	7464,42414	10130,48	597,15	145,89	304,00
2,9	1457,70	8017,34445	11686,87	641,39	156,69	283,03

Taula A.2k-l. Resultats per un radi de manovella de 75 mm i 80 mm

R manovella = 85 mm (Cursa = 170 mm)						
Freq. (Hz)	v pistó (mm/s)	F amortidor (N)	Potència màx. amortidor (W)	Γ receptor màx. (Nm)	Γ receptor RMS (Nm)	Γ motor reduït (Nm)
0,5	267,04	1468,69	392,19	124,84	30,50	451,89
0,7	373,85	2056,17	768,70	174,77	42,70	523,89
0,9	480,66	2643,65	1270,71	224,71	54,90	543,78
1,1	587,48	3231,13	1898,22	274,65	67,10	543,78
1,3	694,29	3818,61	2651,23	324,58	79,30	543,78
1,5	801,11	4406,08	3529,74	374,52	91,50	543,78
1,7	907,92	4993,56	4533,76	424,45	103,69	482,82
1,9	1014,73	5581,04	5663,27	474,39	115,89	432,00
2,1	1121,55	6168,51	6918,29	524,32	128,09	390,86
2,3	1228,36	6755,98	8298,81	574,26	140,29	356,87
2,5	1335,18	7343,47	9804,84	624,20	152,49	328,32
2,7	1441,99	7930,95	11436,36	674,13	164,69	304,00
2,9	1548,81	8518,43	13193,39	724,07	176,89	283,03
R manovella = 90 mm (Cursa = 180 mm)						
Freq. (Hz)	v pistó (mm/s)	F amortidor (N)	Potència màx. amortidor (W)	Γ receptor màx. (Nm)	Γ receptor RMS (Nm)	Γ motor reduït (Nm)
0,5	282,74	1555,09	439,69	139,96	34,19	451,89
0,7	395,84	2177,12	861,79	195,94	47,87	523,89
0,9	508,94	2799,16	1424,60	251,92	61,55	543,78
1,1	622,04	3421,19	2128,10	307,91	75,22	543,78
1,3	735,13	4043,23	2972,31	363,89	88,90	543,78
1,5	848,23	4665,27	3957,22	419,87	102,58	543,78
1,7	961,33	5287,30	5082,83	475,86	116,25	482,82
1,9	1074,42	5909,34	6349,14	531,84	129,93	432,00
2,1	1187,52	6531,37	7756,15	587,82	143,61	390,86
2,3	1300,62	7153,41	9303,86	643,81	157,28	356,87
2,5	1413,72	7775,44	10992,27	699,79	170,96	328,32
2,7	1526,81	8397,48	12821,39	755,77	184,64	304,00
2,9	1639,91	9019,51	14791,20	811,76	198,31	283,03

Taula A.2m-n. Resultats per un radi de manovella de 85 mm i 90 mm

R manovella = 95 mm (Cursa = 190 mm)						
Freq. (Hz)	v pistó (mm/s)	F amortidor (N)	Potència màx. amortidor (W)	Γ receptor màx. (Nm)	Γ receptor RMS (Nm)	Γ motor reduït (Nm)
0,5	298,45	1641,48	489,90	155,94	38,10	451,89
0,7	417,83	2298,08	960,21	218,32	53,34	523,89
0,9	537,21	2954,67	1587,28	280,69	68,57	543,78
1,1	656,59	3611,26	2371,13	343,07	83,81	543,78
1,3	775,97	4267,85	3311,74	405,45	99,05	543,78
1,5	895,35	4924,45	4409,12	467,82	114,29	543,78
1,7	1014,73	5581,03935	5663,27	530,20	129,53	482,82
1,9	1134,11	6237,63221	7074,19	592,58	144,77	432,00
2,1	1253,50	6894,22508	8641,88	654,95	160,01	390,86
2,3	1372,88	7550,81794	10366,34	717,33	175,24	356,87
2,5	1492,26	8207,41081	12247,56	779,70	190,48	328,32
2,7	1611,64	8864,00367	14285,56	842,08	205,72	304,00
2,9	1731,02	9520,59654	16480,32	904,46	220,96	283,03
R manovella = 100 mm (Cursa = 200 mm)						
Freq. (Hz)	v pistó (mm/s)	F amortidor (N)	Potència màx. amortidor (W)	Γ receptor màx. (Nm)	Γ receptor RMS (Nm)	Γ motor reduït (Nm)
0,5	314,16	1727,88	314,16	314,16	42,21	451,89
0,7	439,82	2419,03	439,82	439,82	59,10	523,89
0,9	565,49	3110,18	565,49	565,49	75,98	543,78
1,1	691,15	3801,33	691,15	691,15	92,87	543,78
1,3	816,81	4492,48	816,81	816,81	109,75	543,78
1,5	942,48	5183,63	942,48	942,48	126,64	543,78
1,7	1068,14	5874,78	1068,14	1068,14	143,52	482,82
1,9	1193,81	6565,93	1193,81	1193,81	160,41	432,00
2,1	1319,47	7257,08	1319,47	1319,47	177,29	390,86
2,3	1445,13	7948,23	1445,13	1445,13	194,18	356,87
2,5	1570,80	8639,38	1570,80	1570,80	211,06	328,32
2,7	1696,46	9330,53	1696,46	1696,46	227,95	304,00
2,9	1822,12	10021,68	1822,12	1822,12	244,83	283,03

Taula A.2o-p. Resultats per un radi de manovella de 95 mm i 100 mm

Caldrà anar amb compte de no seleccionar una freqüència i una cursa que donin una potència superior a la que pot proporcionar el motor.

A partir de les taules presentades anteriorment amb els diferents resultats de potència i velocitat lineal, es presenta la Taula A.3a i A.3b on es resumeixen les combinacions possibles de freqüència i cursa, i les velocitats lineals màximes d'assaig que s'aconsegueixen.

Cursa (mm)		50	60	70	80	90	100	110	120
Freqüència		**Velocitat lineal màxima (mm/s)**							
(Hz)	**(min^{-1})**								
0,5	30	79	94	110	126	141	157	173	189
0,7	42	110	132	154	176	198	220	242	264
0,9	54	141	170	198	226	254	283	311	339
1,1	66	173	207	242	276	311	346	380	415
1,3	78	204	245	286	327	368	408	449	490
1,5	90	236	283	330	377	424	471	518	565
1,7	102	267	320	374	427	481	534	587	641
1,9	114	298	358	418	478	537	597	657	716
2,1	126	330	396	462	528	594	660	726	792
2,3	138	361	434	506	578	650	723	795	867
2,5	150	393	471	550	628	707	785	864	
2,7	162	424	509	594	679	763	848		
2,9	174	456	547	638	729	820	911		

Taula A.3a. Combinacions de cursa i freqüència d'assaig possibles

Cursa (mm)		130	140	150	160	170	180	190	200
Freqüència		Velocitat lineal màxima (mm/s)							
(Hz)	(min^{-1})								
0,5	30	204	220	236	251	267	283	298	314
0,7	42	286	308	330	352	374	396	418	440
0,9	54	368	396	424	452	481	509	537	565
1,1	66	449	484	518	553	587	622	657	691
1,3	78	531	572	6123	653	694	735	776	817
1,5	90	613	660	707	754	801	848	895	
1,7	102	694	748	801	855	908			
1,9	114	776	836	895					
2,1	126	858	924						
2,3	138								
2,5	150								
2,7	162								
2,9	174								

Taula A.3b. Combinacions de cursa i freqüència d'assaig possibles

El rang de velocitats lineals que es plantejava inicialment en els requeriments era de 0,05 m/s a 1 m/s. Tot i haver reduït el rang de freqüències, amb el plantejament presentat es pot veure que les velocitats lineals varien entre un mínim de 0,08 m/s a màximes properes a 0,9 m/s.

Per tant, amb un motor de 5,5 kW es poden aconseguir aproximadament els requeriments de velocitats lineals sense haver de recórrer a un motor de major potència.

B. Estudi de la cinemàtica del mecanisme pistó-biela-manovella

La coordenada *x* del moviment alternatiu del pistó (Figura B.1) en funció dels angles φ i α és (Eq. B.1 i Eq B.2):

$$x = r \cdot \cos\varphi + l \cdot \cos\alpha \qquad \text{(Eq. B.1)}$$

$$r \cdot \sin\varphi = l \cdot \sin\alpha \qquad \text{(Eq. B.2)}$$

S'aplica la següent transformació al cosinus de la coordenada α (Eq. B.3):

$$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = 1 - \frac{1}{2}\sin^2\alpha = 1 - \frac{1}{2}\cdot\frac{r^2}{l^2}\sin^2\varphi = 1 - \frac{1}{2}\cdot\frac{r^2}{l^2}\cdot\frac{1-\cos 2\varphi}{2}$$

$$\cos\alpha = 1 - \frac{r^2}{l^2}\cdot\left(\frac{1-\cos 2\varphi}{4}\right) \qquad \text{(Eq. B.3)}$$

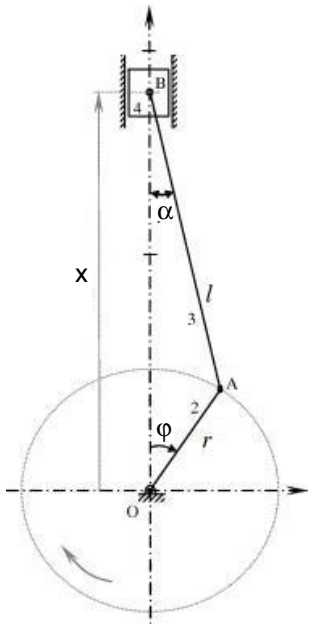


Figura B.1. Esquema del mecanisme pistó-biela-manovella

Ara, substituint la nova expressió de cos α (Eq. B.3) i canviant $\varphi = \omega \cdot t$ a l'Eq. B.1 s'obté:

$$x = r\cos(\omega t) + l \cdot \left[1 - \frac{r^2}{l^2}\left(\frac{1-\cos(2\omega t)}{4}\right)\right] \qquad \text{(Eq. B.4)}$$

Reordenant termes en l'Eq. B.4 s'arriba a la següent expressió (Eq. B.5):

$$x = \left(l - \frac{r^2}{4 \cdot l}\right) + r \cdot \cos(\omega t) + \left(\frac{r^2}{4 \cdot l}\right)\cos(2\omega t) \qquad \text{(Eq. B.5)}$$

A partir de l'Eq. B.5 derivant s'obté la velocitat (Eq. B.6) i l'acceleració (Eq. B.7) del pistó:

$$v = -\omega r \cdot \sin(\omega t) - 2\omega\left(\frac{r^2}{4 \cdot l}\right)\sin(2\omega t) \qquad \text{(Eq. B.6)}$$

$$a = -\omega^2 r \cdot \cos(\omega t) - (2\omega)^2\left(\frac{r^2}{4 \cdot l}\right)\cos(2\omega t) \qquad \text{(Eq. B.7)}$$

C. Selecció de ròtules

La biela té muntada en els seus extrems caps de ròtula amb rosca exterior per evitar les càrregues a flexió i que la biela només treballi a tracció i compressió. La utilització de ròtules evita també problemes d'alineament.

El propi catàleg de ròtules ELGES ofereix la seqüència de càlcul a seguir per seleccionar les ròtules que millor s'ajusten a aquesta aplicació [Ref. 7 i annex H.5].

En primera instància, es decideix que els caps de ròtula siguin lliures de manteniment. Per tant, seran caps de ròtula DIN648 de la sèrie E o K amb rosca exterior.

C.1. Càlcul del tamany del cap de ròtula

La força d'amortiment es considera de l'ordre de 5 kN, però degut al desconeixement del coeficient d'amortiment *c* es considerarà una força sobre el cap de la ròtula de 10 kN.

Dades: Càrrega sobre el cap de ròtula $F_{màx}$ = 10 kN

Direcció de la càrrega = alterna

Factor de càrrega f_b = 2

$$F_{màx\,\mathrm{adm}} = \frac{C_0}{f_b} \qquad \text{(Eq. C.1)}$$

Capacitat de càrrega estàtica del cap de la ròtula C_0 (kN) (Eq. C.1):

$$\Rightarrow C_{0\,\mathrm{mín}} = F_{màx} \cdot f_b = 10 \cdot 2 = 20\,\mathrm{kN}$$

S'ha de seleccionar un cap de ròtula que tingui una capacitat de càrrega estàtica C_0 superior a la mínima calculada.

A continuació es plantegen les diferents opcions amb rosca exterior corresponents a la norma DIN 648:

➢ **GAR12 UK**

Mètric M12

Sèrie E ; C_0 = 24,5 kN

Superfície de fricció : crom dur/compost PTFE

Aquest tipus de cap de ròtules s'utilitza per condicions de funcionament suaus (càrrega en sentit únic, moviment lent amb angles d'oscil·lació petits a mitjans).

➢ **GAKFR14 PW**

Mètric M14

Sèrie K ; C_0 = 21 kN

Superfície de fricció : acer/làmina PTFE

Aquest tipus de cap de ròtules s'utilitza per condicions de funcionament suaus (càrrega en sentit únic i moderadament alterna, moviment lent amb angles d'oscil·lació petits a mitjans).

➢ **GAKKR14**

Mètric M14

Sèrie K ; C_0 = 24 kN

Superfície de fricció : acer/GFK+ PTFE

D'aplicació universal, poc adequades per freqüències elevades d'oscil·lació o de gir així com per sol·licitacions a xocs.

Es selecciona un cap de ròtula GAKKR14 amb superfície de fricció acer/GFK+ PTFE.

C.2. Càlcul de duració de vida

Dades	
Sèrie de la ròtula	GAKKR14
Capacitat de càrrega dinàmica *C*	17 kN
Diàmetre de l'esfera d_K	25,4 mm
Càrrega sobre el suport $F_{r\,mín}$ $F_{r\,màx}$	10 kN -10 kN
Angle d'oscil·lació β (aprox.)	25º
Freqüència d'oscil·lació *f*	90 min^{-1} (per a la qual la *F* és màx.)
Factor de direcció de càrrega f_1	0,55
Factor de temperatura f_2	1
Factor del tipus de ròtula f_3	0,45

Taula C.1. Dades del cap de ròtula GAKKR14

❶ Pressió en el suport *p*

P : càrrega equivalent sobre la ròtula (kN)

p : pressió en el suport (N/mm^2)

K : coeficient específic de càrrega (N/mm^2)

$$P = \frac{\sqrt{F_{mín}^2 + F_{màx}^2}}{2} = \frac{\sqrt{(-10)^2 + (10)^2}}{2} = 7{,}07 \text{ kN} \qquad \text{(Eq. C.2)}$$

$$p = K \cdot \frac{P}{C} \qquad \text{(Eq. C.3)}$$

La pressió *p* en el suport és (Eq. C.3) :

$$p = 50 \cdot \frac{7{,}07}{17} = 20{,}79 \text{ N/mm}^2$$

❷ Velocitat de lliscament *v*

$$v = 2{,}91 \cdot 10^{-4} \cdot d_k \cdot \beta \cdot f = 2{,}91 \cdot 10^{-4} \cdot 25{,}4 \cdot 25 \cdot 90 = 16{,}63 \text{ mm/s} \qquad \text{(Eq. C.4)}$$

$$p \cdot v = 345{,}75 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{mm/s} \qquad \text{(Eq. C.5)}$$

Es comprova que *p, v* i *p·v* es troben dins dels límits admissibles (Figura C.1).

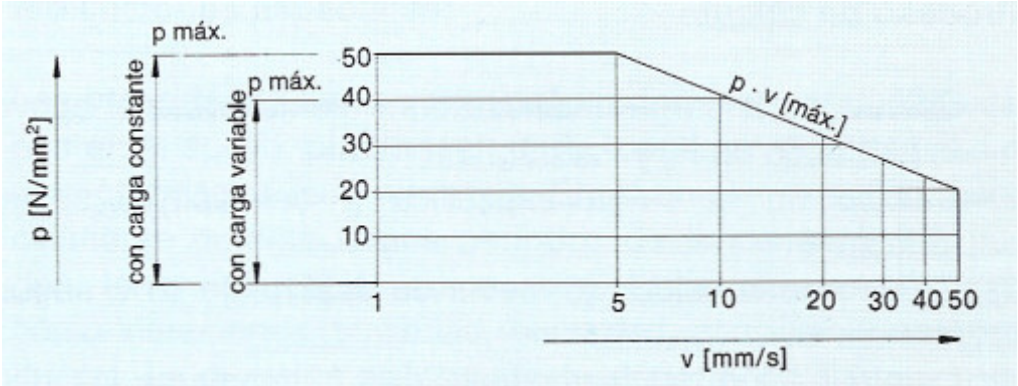


Figura C.1. Relació *p* i *v* (Catàleg ELGES [REf. 7 i annex H.5])

❸ Número d'oscil·lacions

$$L = 8{,}4 \cdot 10^8 \cdot \frac{f_1 f_2 f_3}{d_k \cdot \beta} \cdot \frac{C}{P} \qquad \text{(Eq. C.6)}$$

$$L = 8{,}4 \cdot 10^8 \cdot \frac{0{,}55 \cdot 1 \cdot 0{,}45}{25{,}4 \cdot 25} \cdot \frac{17}{7{,}07} = 787245{,}65 \text{ oscil·lacions}$$

$$L_h = \frac{L}{f \cdot 60} = \frac{787245{,}65}{90 \cdot 60} = 145{,}79 \text{ hores} \qquad \text{(Eq. C.7)}$$

Les hores de funcionament són relativament poques, però s'ha de tenir en compte que el funcionament de la màquina no és continuo i que el temps d'assaig és de l'ordre de minuts.

D. Càlculs a vinclament

Les columnes de l'estructura del banc, la barra central roscada i la biela són components que treballen a tracció i compressió quan el banc es troba en funcionament. Precisament, és quan aquests components treballen a compressió que es pot presentar el problema de vinclament. Per tant, cal realitzar els càlculs oportuns per assegurar la seva resistència al vinclament.

Per calcular el vinclament hi ha 2 mètodes:

- Càlcul a vinclament per Euler
- Càlcul a vinclament pel mètode Omega-ω

En aquelles situacions on es puguin utilitzar els dos mètodes, el millor és el mètode Omega-ω. Els càlculs que segueixen a continuació s'han realitzat seguint el mètode Omega-ω.

Per realitzar el càlcul a vinclament s'utilitzarà la màxima força que és de 5 kN. Un altre cop, degut a la incertesa del coeficient d'amortiment *c*, és considerarà un factor de seguretat de 2 i la força serà de 10 kN.

D.1. Càlcul a vinclament de les columnes

Quan l'amortidor s'expandeix, les columnes de l'estructura del banc treballen a compressió. És llavors quan pot presentar-se el problema de vinclament a les columnes. Sobre cada columna actuarà una força *P* = 5000 N.

Els tubs de les columnes són d'acer S355 segons norma europea EN10025.

Dades acer S355:

E = 200 GPa

σ_e = 355 N/mm^2

γ_{se} = 1,5

Moment d'inèrcia de la columna:

$$I_z = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{\pi(50^4 - 41^4)}{64} = 168086{,}93 \text{ mm}^4$$

Secció de la columna:

$$A = \pi(R^2 - r^2) = \pi((50/2)^2 - (41/2)^2) = 643{,}24 \text{ mm}^2$$

Longitud de vinclament *L*:

Es considera barra encastada, per tant la longitud de vinclament *L* és:

$$L = \frac{2}{3} l = \frac{2}{3} 1600 = 1067 \text{ mm}$$ on *l* és la longitud de les columnes

❶ Càlcul de l'esveltesa λ:

Radi de gir *i* (Eq. D.1):

$$i = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{168086{,}93}{643{,}24}} = 16{,}17 \text{ mm} \qquad \text{(Eq. D.1)}$$

Esveltesa (Eq. D.2):

$$\lambda = \frac{L}{i_{\min}} = \frac{1067\ \text{mm}}{16{,}17\ \text{mm}} = 65{,}98 \approx 66 \qquad \text{(Eq. D.2)}$$

❷ A partir de l'esveltesa λ es mira en les taules per l'acer S355 (A-52) [Ref. 8] i es troba el paràmetre ω corresponent.

$\lambda = 66 \rightarrow \ \omega = 1{,}47$

❸ Càlcul de σ_{adm} (Eq. D.3) , P_{adm} (Eq. D.4) i σ (Eq. D.5):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_E}{\gamma_{se}} = \frac{355\ \text{N/mm}^2}{1{,}5} = 236{,}67\ \text{N/mm}^2 \qquad \text{(Eq. D.3)}$$

$$P_{adm} = \frac{\sigma_{adm} \cdot A}{\omega} = \frac{236{,}67 \cdot 643{,}24}{1{,}47} = 103561{,}64\ \text{N} > \text{P} = 5000\ \text{N} \qquad \text{(Eq. D.4)}$$

$$\sigma = \frac{5000N}{643{,}24mm^2} = 7{,}77\ \text{N/mm}^2 < \sigma_{adm} \qquad \text{(Eq. D.5)}$$

La càrrega sobre cada columna és de 5000 N, molt inferior a la P_{adm} calculada (això mateix es pot veure amb σ_{adm} comparada amb σ). Per tant, no hi haurà problemes de vinclament a les columnes. Es podria plantejar baixar el perfil de les columnes però per la robustesa de l'estructura és preferible mantenir les dimensions del tub.

D.2. Càlcul a vinclament de la barra central roscada

La barra central que serveix per subjectar la part superior de l'amortidor presentarà problemes de vinclament quan es comprimeix l'amortidor, ja que és llavors quan la barra central treballa a compressió. La càrrega que actua a compressió és de P = 10.000 N.

El càlcul a vinclament es realitzarà suposant que la longitud disponible de la barra roscada és la màxima (700 mm).

La barra central roscada és d'acer S275 segons norma europea EN10025, però no es disposen de taules amb coeficients ω per a aquest acer. Per realitzar el càlcul s'utilitzaran els coeficients ω de l'acer S235, que té propietats inferiors al S275. Si el càlcul realitzat per l'acer S235 és vàlid, també ho serà pel S275.

Dades acer S235:

E = 200 GPa

σ_e = 235 N/mm^2

γ_{se} = 1,5

Moment d'inèrcia de la columna:

$$I_z = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi(30^4)}{64} = 39760{,}78 \text{ mm}^4$$

Secció de la columna:

$$A = \pi r^2 = \pi(30/2)^2 = 706{,}86 \text{ mm}^2$$

Longitud de vinclament *L*:

Es suposarà que la barra està encastada, per tant la longitud de vinclament *L* és:

$$L = \frac{2}{3}l = \frac{2}{3}700 = 467 \text{ mm}$$ on *l* és la longitud de la barra central

❶ Càlcul de l'esveltesa λ

Radi de gir *i* (Eq. D.1):

$$i = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{39760{,}78}{706{,}86}} = 7{,}50 \text{ mm}$$

Esveltesa (Eq. D.2):

$$\lambda = \frac{L}{i_{\min}} = \frac{467 \text{ mm}}{7{,}50 \text{ mm}} = 62{,}27$$

❷ A partir de l'esveltesa λ es mira en les taules per l'acer S235 (A-37) [Ref. 8] i es troba el paràmetre ω corresponent.

λ = 62,27 $\rightarrow$ ω = 1,21

❸ Càlcul de σ_{adm} (Eq. D.3) , P_{adm} (Eq. D.4) i σ (Eq. D.5):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_E}{\gamma_{se}} = \frac{235 \text{ N/mm}^2}{1{,}5} = 156{,}67 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{adm} = \frac{\sigma_{adm} \cdot A}{\omega} = \frac{156{,}67 \cdot 706{,}86}{1{,}21} = 91521{,}82 \text{ N} > P = 10000 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{10000N}{706{,}86mm^2} = 14{,}15 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

La càrrega a compressió sobre la barra central roscada és de 10.000 N, inferior a la P_{adm} calculada considerant un acer S235. Per tant, no hi haurà problemes de vinclament en aquest element utilitzant un acer de millors propietats com és el S275. Igualment en aquest cas es podria plantejar baixar el perfil de la barra, però per la robustesa de l'estructura i també en ser roscada, és preferible mantenir les dimensions.

D.3. Càlcul a vinclament de la biela

La biela consisteix en un tub roscat que té en els seus extrems ròtules. La biela treballa purament a tracció i compressió, per tant s'ha de comprovar el vinclament de la mateixa sent la càrrega que actua a compressió de 10.000 N.

El material de la biela és d'acer S355 segons norma europea EN10025

Dades acer S355:

E = 200 GPa

σ_e = 355 N/mm^2

γ_{se} = 1,5

Moment d'inèrcia de la columna:

$$I_z = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{\pi(20^4 - 12^4)}{64} = 6836{,}10 \text{ mm}^4$$

Secció de la columna:

$$A = \pi(R^2 - r^2) = \pi((20/2)^2 - (12/2)^2) = 201{,}06 \text{ mm}^2$$

Longitud de vinclament *L*:

Es suposarà que la barra té articulacions en els seus extrems, per tant la longitud de vinclament *L* és:

$L = l = 450$ mm on *l* és la longitud de la biela

❶ Càlcul de l'esveltesa λ

Radi de gir *i* (Eq. D.1):

$$i = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{6836{,}10}{201{,}06}} = 5{,}83 \text{ mm}$$

Esveltesa (Eq. D.2):

$$\lambda = \frac{L}{i_{\min}} = \frac{450\,\text{mm}}{5{,}83\,\text{mm}} = 77{,}17$$

❷ A partir de l'esveltesa λ es mira en les taules per l'acer S355 (A-52) [Ref. 8] i es troba el paràmetre ω corresponent.

λ = 77,17 $\rightarrow$ ω = 1,75

❸ Càlcul de σ_{adm} (Eq. D.3) , P_{adm} (Eq. D.4) i σ (Eq. D.5):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_E}{\gamma_{se}} = \frac{355\ \text{N/mm}^2}{1{,}5} = 236{,}67\ \text{N/mm}^2$$

$$P_{adm} = \frac{\sigma_{adm} \cdot A}{\omega} = \frac{236{,}67 \cdot 201{,}06}{1{,}75} = 27190{,}97\ \text{N} > \text{P} = 10000\ \text{N}$$

$$\sigma = \frac{10000N}{201{,}06mm^2} = 49{,}74\ \text{N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

La càrrega a compressió sobre la biela és de 10.000 N, inferior a la P_{adm} calculada. Per tant, no hi haurà problemes de vinclament en aquest element.

E. Estudi de les unions cargolades

De les diverses unions cargolades que són presents al banc, es calcularan les que corresponen a les columnes, la de la barra central roscada i les de la unió del disc amb el botó.

Per realitzar el càlcul de les unions cargolades es seguiran les pautes establertes en el llibre *Unions cargolades* de J. Fenollosa [Ref. 4].

E.1. Unió de la barra central roscada

Seguidament es realitzarà el càlcul de comprovació per la unió de la barra central roscada. Com a dada de partida es decideix que aquesta unió sigui de mètric M30.

❶ Funció de la unió cargolada

Unir el suport superior amb la barra central que ha d'aguantar l'amortidor per un dels seus extrems i mantenir-lo fix durant la realització de l'assaig. Es va plantejar que aquesta unió fos cargolada per tal d'adaptar-se a les diferents longituds d'amortidors. La unió consta de femella i contrafemella (Figura E.1).

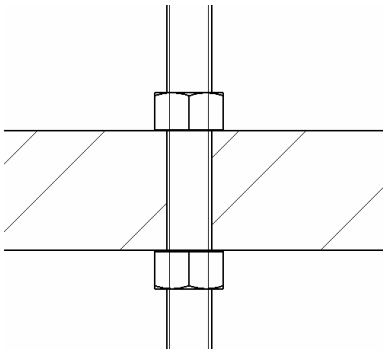


Figura E.1. Detall de la unió de la barra central roscada

❷ Categoria de la unió cargolada

La unió cargolada es considera de qualitat normal 8.8 i, per tant, es calcula com a normalment sol·licitada per garantir que la unió no falli.

❸ Forces al muntatge

Sabent que el tipus de cargol és un M30 i prenent un fregament global en la unió de μ_G = 0,14 (pàg. 41 [Ref. 4]) s'obté a partir de les taules proporcionades en el pàgina 75 [Ref. 4] :

Força de muntatge límit $F_{M\,lim}$ = 262.000 N

Moment de muntatge màxim M_M = 1.450 Nm

Per claus dinamomètriques, el moment de muntatge recomanat és un 90% del moment de muntatge prescrit a les taules:

$M_{M\,recomenat}$ = 0,9M_m = 1.305 Nm

Factor de collada α_c = 1,4 (rosca lubricada)

Aquestes dades permetran calcular la dispersió existent en la força de muntatge, compresa entre $F_{M\,mín}$ i $F_{M\,màx}$ (Eq. E.1):

$$F_{Mmàx} = F_{Mlím} = 262.000\text{N}$$

$$\alpha_c = \frac{F_{M\,\max}}{F_{Mmín}} \rightarrow F_{Mmín} = \frac{F_{Mmàx}}{\alpha_c} = \frac{262.000\,\text{N}}{1{,}4} = 187.142{,}86\,\text{N} \qquad \text{(Eq. E.1)}$$

❹ Càlcul de rigideses

➢ Rigidesa del cargol k_c

Dades [Ref. 4 ; pàg. 23 i 24]:

Secció resistent de la rosca A_T = 561 mm^2

Longitud roscada e_3 = 80 mm

Longitud efectiva de càlcul femella/contrafemella e' = 04·d = 0,4·30 =12 mm

Mòdul l'elasticitat E = 2,1·10^5 N/mm^2

$$k_{rosca} = \frac{A_T \cdot E}{e_3} = \frac{561 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}{80} = 1.472.625\,\text{N/mm} \qquad \text{(Eq. E.2)}$$

$$k_{femella} = k_{contrafemella} = \frac{A_T \cdot E}{e'} = \frac{561 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}{12} = 9.817.500 \text{ N/mm} \qquad \text{(Eq. E.3)}$$

$$\frac{1}{k_c} = \frac{1}{k_{rosca}} + \frac{1}{k_{femella}} + \frac{1}{k_{contrafemella}} \rightarrow k_c = 1.132.788{,}46 \text{ N/mm} \qquad \text{(Eq. E.4)}$$

➢ **Rigidesa de les peces k_p**

Distància entre cares d_e = 46 mm

Gruix de les peces comprimides l_p = 80 mm

Diàmetre del forat d_f = 30 mm

Longitud de les peces que es comprimeixen D_d = 500 mm

$$\frac{D_d}{d_e} = \frac{500 \text{ mm}}{46 \text{ mm}} = 10{,}87 > 3 \rightarrow \text{es considera peces extenses} \quad \text{(Eq. E. 5)}$$

$$k_p = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{E_p}{l_p} \left[(d_e + \frac{l_p}{10})^2 - d_f^2 \right] \qquad \text{(Eq. E.5)}$$

$$k_p = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2{,}1 \cdot 10^5}{80} \left[(46 + \frac{80}{10})^2 - 30^2 \right] = 4.156.327{,}08 \text{ N/mm}$$

➢ **Relació de rigideses *c***

$$c = \frac{k_c}{k_p + k_c} = 0{,}2142 \qquad \text{(Eq. E.6)}$$

❺ Modes de fallada

Els modes de fallada que pot patir aquesta unió cargolada poden ser per:

- trencament del cargol
- fatiga

❻ Força separadora axial

Es suposa que la força separadora màxima és tota la força d'amortiment.

$F_{s\,màx}$ = 10.000 N

Considerant el factor del nivell d'acció de la força separadora *i* = 1 [Ref. 4 ; pàg. 65], es redefineix la relació de rigideses com *c'* (Eq. E.7):

$$c' = i \cdot c = 0{,}2142 \qquad \text{(Eq. E.7)}$$

Ara es pot definir la força separadora màxima i mínima en el cargol com (Eq. E.8 i Eq. E.9):

$$F_{cs\,màx} = c' \cdot F_{s\,màx} = 2142{,}74 \text{ N} \qquad \text{(Eq. E.8)}$$

$$F_{cs\,mín} = c' \cdot F_{s\,mín} = -2142{,}74 \text{ N} \qquad \text{(Eq. E.9)}$$

❼ Fallada estàtica (trencament del cargol)

Per cargols de qualitat 8.8 [Ref. 4 ; pàg. 26] :

Resistència a la tracció R_m = 800 N/mm^2

Límit elàstic R_e = 640 N/mm^2

El cargol es sol·licita fins a un 90% del límit elàstic R_e. Per veure si el cargol es trenca o no, cal comprovar (Eq. E.10):

$$\Delta\sigma_e = \frac{F_{csmàx}}{A_T} \qquad \text{(Eq. E.10)}$$

$$\Delta\sigma_e = \frac{2141{,}74N}{561mm^2} = 3{,}817 \text{ N/mm}^2 < 0{,}1\,\mathrm{Re} = 64 \text{ N/mm}^2 \qquad \text{OK}\boxtimes$$

No es produirà trencament.

❽ Fallada dinàmica (fatiga)

Força alternativa en el cargol (Eq. E.11):

$$F_{c\ alternativa} = \frac{(F_{cs\ màx} - F_{cs\ mín})}{2} = \frac{2141{,}74 - (-2141{,}74)}{2} = 2141{,}74\ \text{N} \quad \text{(Eq. E.11)}$$

Tensió alternativa (Eq. E.12):

Secció del nucli A_3 = 519 mm^2

Resistència a la fatiga de cargols amb rosca tallada i després bonificat (pitjor cas degut a l'efecte entalla), per un cargol M30 i de qualitat 8.8 [Ref. 4 ; pàg. 79]:

$$\sigma_A = 40\ \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{F_{c\ alternativa}}{A_3} \quad \text{(Eq. E.12)}$$

$$\sigma_a = \frac{2141{,}74N}{519mm^2} = 4{,}126\ \text{N/mm}^2 < \sigma_{A\ adm} = 40\ \text{N/mm}^2 \quad \text{OK}\boxtimes$$

No es produirà fallada per fatiga.

Coeficient de seguretat a fatiga (Eq. E.13):

$$C_s = \frac{\sigma_{A\ adm}}{\sigma_a} = \frac{40}{4{,}126} = 9{,}70 \quad \text{(Eq. E.13)}$$

E.2. Unió cargolada de les columnes amb el suport superior

A continuació es farà el càlcul de comprovació per la unió roscada de les columnes amb el suport superior.

Com a dada de partida es decideix que aquesta unió sigui de mètric M20.

❶ Funció de la unió cargolada

Les columnes tenen a la part superior una peça de postís roscada que permet la unió amb el suport superior tal i com es pot veure en la Figura E.2. La rosca és de mètric M20 i es fixa amb una femella.

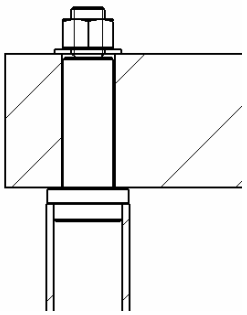


Figura E.2. Detall de la unió de la columna amb el suport superior

❷ Categoria de la unió cargolada

La unió cargolada es considera de qualitat normal 8.8 i, per tant, es calcula com a normalment sol·licitada per garantir que la unió no falli.

❸ Forces al muntatge

Sabent que el tipus de cargol és un M20 i prenent un fregament global en la unió de $\mu_G = 0,14$ [Ref. 4 ; pàg. 41] s'obté a partir de les taules proporcionades en el pàgina 75 [Ref. 4] :

Força de muntatge límit $F_{M\,lim}$= 114.000 N

Moment de muntatge màxim M_M = 410 Nm

Per claus dinamomètriques, el moment de muntatge recomanat és un 90% del moment de muntatge prescrit a les taules:

$M_{M\,recomenat} = 0,9M_m = 369$ Nm

Factor de collada α_c = 1,4 (rosca lubricada)

Aquestes dades permetran calcular la dispersió existent en la força de muntatge, compresa entre $F_{M\,mín}$ i $F_{M\,màx}$ (Eq. E.14):

$$F_{Mmàx} = F_{Mlím} = 114.000\text{N}$$

$$\alpha_c = \frac{F_{M\,\max}}{F_{Mmín}} \rightarrow F_{Mmín} = \frac{F_{Mmàx}}{\alpha_c} = \frac{114.000\text{ N}}{1{,}4} = 81.428{,}57\text{ N} \qquad \text{(Eq. E.14)}$$

❹ Càlcul de rigideses

➢ Rigidesa del cargol k_c

Dades [Ref. 4; pàg. 23 i 24]:

Secció resistent de la rosca A_T = 245 mm^2

Longitud canya e_1 = 78 mm

Longitud roscada e_3 = 0,8·d = 0,8·20 = 16 mm (igual a l'altura de la femella)

Mòdul l'elasticitat E =2,1·10^5 N/mm^2

$$k_{rosca} = \frac{A_T \cdot E}{e_3} = \frac{245 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}{16} = 3.215.625\ \text{N/mm} \qquad \text{(Eq. E.15)}$$

$$k_{canya} = \frac{A_1 \cdot E}{e_1} = \frac{\left(\frac{\pi \cdot 30^2}{4}\right) \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}{78} = 1.903.080{,}16\ \text{N/mm} \qquad \text{(Eq. E.16)}$$

$$k_{\text{inf}\,erior} = \frac{A' \cdot E}{e'} = \frac{\left(\frac{\pi \cdot 50^2}{4}\right) \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}{0{,}4 \cdot 50} = 20.616.701{,}79\ \text{N/mm} \qquad \text{(Eq. E.17)}$$

$$\frac{1}{k_c} = \frac{1}{k_{rosca}} + \frac{1}{k_{canya}} + \frac{1}{k_{\text{inf}\,erior}} \rightarrow k_c = 1.130.007{,}55\ \text{N/mm} \qquad \text{(Eq. E.18)}$$

➢ **Rigidesa de les peces k_p**

Distància entre cares d_e = 30 mm

Gruix de les peces comprimides l_p = 80 mm

Diàmetre del forat d_f = 32 mm (forat passant)

Longitud de les peces que es comprimeixen D_d = 250 mm

$\frac{D_d}{d_e} = \frac{250\,\text{mm}}{30\,\text{mm}} = 8{,}34 > 3 \rightarrow$ es considera peces extenses (Eq. E. 19).

$$k_p = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{E_p}{l_p} \left[(d_e + \frac{l_p}{10})^2 - d_f^2 \right] \qquad \text{(Eq. E.19)}$$

$$k_p = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2{,}1 \cdot 10^5}{80} \left[(30 + \frac{80}{10})^2 - 32^2 \right] = 865.901{,}47 \text{ N/mm}$$

➢ **Relació de rigideses *c***

$$c = \frac{k_c}{k_p + k_c} = 0{,}5662 \qquad \text{(Eq. E.20)}$$

❺ Modes de fallada

Els modes de fallada que pot patir aquesta unió cargolada poden ser per:

- trencament del cargol
- fatiga

❻ Força separadora axial

Es suposa que la força separadora màxima és tota la força d'amortiment. Aquesta força repartida per cada columna, resulta que cada unió està sotmesa a:

$F_{s\,màx}$ = 5.000 N

Considerant el factor del nivell d'acció de la força separadora *i* = 1, es redefineix la relació de rigideses com *c'* (Eq. E. 21):

$$c' = i \cdot c = 0{,}5662 \qquad \text{(Eq. E.21)}$$

Ara es pot definir la força separadora màxima i mínima en el cargol com (Eq. E.22 i Eq. E.23) :

$$F_{cs\,màx} = c' \cdot F_{s\,màx} = 2830{,}81\,\text{N} \qquad \text{(Eq. E.22)}$$

$$F_{cs\,mín} = c' \cdot F_{s\,mín} = -2830{,}81\,\text{N} \qquad \text{(Eq. E.23)}$$

❼ Fallada estàtica (trencament del cargol):

Per cargols de qualitat 8.8 [Ref. 4; pàg 26]:

Resistència a la tracció R_m = 800 N/mm^2

Límit elàstic R_e = 640 N/mm^2

El cargol es sol·licita fins a un 90% del límit elàstic R_e. Per veure si el cargol es trenca o no, cal comprovar (Eq. E.24):

$$\Delta\sigma_e = \frac{F_{csmàx}}{A_T} \qquad \text{(Eq. E.24)}$$

$$\Delta\sigma_e = \frac{2830{,}81N}{245mm^2} = 11{,}554 \text{ N/mm}^2 < 0{,}1\text{Re} = 64 \text{ N/mm}^2 \qquad \text{OK}\boxtimes$$

No es produirà trencament.

❽ Fallada dinàmica (fatiga)

Força alternativa en el cargol (Eq. E.25):

$$F_{c\,alternativa} = \frac{(F_{cs\,màx} - F_{cs\,mín})}{2} \qquad \text{(Eq. E.25)}$$

$$F_{c\ alternativa} = \frac{2830{,}81 - (-2830{,}81)}{2} = 2830{,}81\ \text{N}$$

Tensió alternativa (Eq. E. 26)

Secció del nucli A_3 = 225 mm^2

Resistència a la fatiga de cargols amb rosca tallada i després bonificat (pitjor cas degut a l'efecte entalla), per un cargol M20 i de qualitat 8.8 [Ref. 4; pàg. 79]:

$$\sigma_A = 40\ \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{F_{c\ alternativa}}{A_3} \qquad \text{(Eq. E.26)}$$

$$\sigma_a = \frac{2830{,}81N}{225mm^2} = 12{,}58\ \text{N/mm}^2 < \sigma_{A\ adm} = 40\ \text{N/mm}^2 \qquad \text{OK}\boxtimes$$

No es produirà fallada per fatiga.

Coeficient de seguretat a fatiga (Eq. E. 27):

$$C_s = \frac{\sigma_{A\ adm}}{\sigma_a} = \frac{40}{12{,}58} = 3{,}18 \qquad \text{(Eq. E.27)}$$

E.3. Unió cargolada de les columnes amb la bancada

Les columnes tenen un postís en la part inferior que permet roscar les columnes a la bancada. La rosca del postís és de mètric M30. La seqüència de càlcul és pràcticament igual a la de la unió roscada de les columnes amb el suport superior. Per tant, si amb una rosca de mètric M20 no fallava, amb una de M30 tampoc.

E.4. Unió cargolada del disc amb el botó

A la transmissió de parells de gir es presenten, habitualment, unions amb força separadora transversal. És el cas de la unió del botó amb el disc.

Aquest tipus d'unions poden resistir la força transversal de dues maneres:

- que els cargols originin un fregament entre les peces unides
- que els cargols resisteixin a cisallament

La unió del botó amb el disc és una unió per fregament, on els forats són passants i els cargols tenen joc respecte al forat.

La força transversal F_T tendeix a separar les peces unides, fent-les lliscar. S'ha d'originar una resistència al lliscament mitjançant la força de fregament F_f entre les peces unides.

Coeficient de seguretat al lliscament C_s = 1,25 (per màquines i estructures)

Força de fregament $F_f = F_M \cdot \mu \cdot n \cdot m$ (Eq. E.28)

Força de muntatge F_M

Coeficient de fregament μ = 0,10 ... 0,15

Número de cargols *n*

Número de superfícies de fregament *m*

Força de muntatge necessària mínima $F_M = \frac{F_T \cdot C_s}{n \cdot m \cdot \mu}$ (Eq. E.29)

Per al càlcul concret d'aquesta unió es considera que es tracta d'una unió de qualitat normal. La seqüència de càlcul que segueix es troba a la pàgina 84 del llibre d'en J. Fenollosa [Ref. 4].

La unió es materialitzarà mitjançant 4 cargols hexagonals situats a un diàmetre de 120mm (Figura E.3).

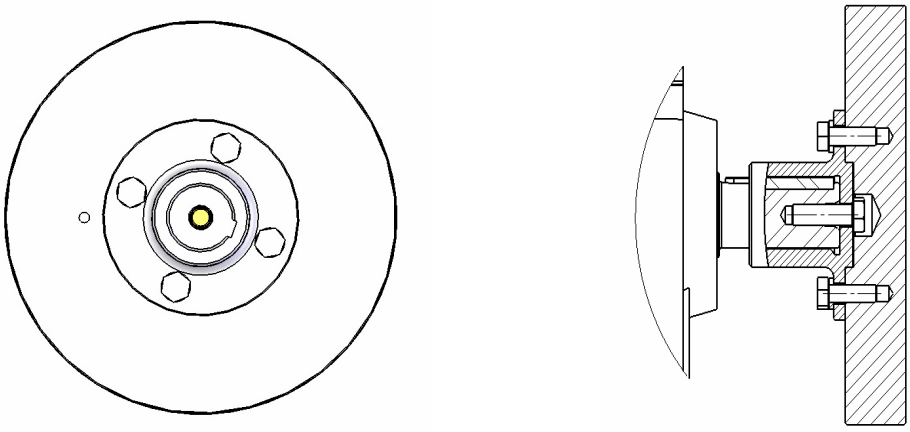


Figura E.3. Detall de la unió del disc amb l'eix del motorreductor mitjançant el botó

Moment màxim que es transmet és $\Gamma_{\substack{receptor \\ màxim}} = 467{,}82\,\text{Nm}$, però alhora de realitzar el càlcul es considerarà un coeficient de seguretat de 2 per cobrir el desconeixement de la força d'amortiment.

Força transversal $F_T = \dfrac{\Gamma_{\substack{recep \\ màxim}}}{r} = \dfrac{467{,}82\ \text{Nm x2}}{0{,}06\ \text{m}} = 15.594\ \text{N}$ (Eq. E.30)

La força de muntatge necessària mínima per cada cargol després de l'assentament (amb condició de no lliscament) és (Eq. E.29):

$$F'_{\substack{M \\ mín}} = \frac{F_T \cdot C_s}{n \cdot m \cdot \mu} = \frac{15594 \cdot 1{,}25}{4 \cdot 1 \cdot 0{,}14} = 34.808\,\text{N}$$

Abans de l'assentament (condició de no fallada del cargol) (Eq. E.31):

$$F'_{M\,mín} = F_{M\,mín} - \Delta F_M \qquad \text{(Eq. E.31)}$$

En ser una unió de qualitat normal es pot estimar que $\Delta F_M \approx \dfrac{1}{3} F_{M\,mín}$

Així doncs, l'expressió Eq. E.31 queda:

$$F'_{M\,mín} = F_{M\,mín} - \Delta F_M = \frac{2}{3} F_{M\,mín} \qquad \rightarrow F_{M\,mín} = 52.212{,}05\ \text{N}$$

Considerant un factor de collada $\alpha_c = 1{,}4$ (rosca lubricada) [Ref. 4; pàg. 42] i sabent la relació de dispersió existent en la força de muntatge, compresa entre $F_{M\,mín}$ i $F_{M\,màx}$, es pot determinar la $F_{M\,màx}$ (Eq. E. 32):

$$\alpha_c = \frac{F_{M\,max}}{F_{M\,mín}} \rightarrow F_{M\,màx} = \alpha_c \cdot F_{M\,mín} = 73.096{,}88\text{N} \qquad \text{(Eq. E.32)}$$

En la taula de la pàgina 75 [Ref. 4] es busca un cargol amb un fregament global en la unió de $\mu_G = 0{,}14$, que tingui una $F_{M\,lím}$ superior a la $F_{M\,màx}$ calculada.

S'opta per escollir 4 cargols M14 de qualitat 10.9 amb una força de muntatge límit $F_{M\,lím}$=74.000 N i un moment de muntatge màxim M_M = 190 Nm.

El moment de muntatge que cal prescriure és $M_{M\,recomenat} = 0{,}9 M_m$ = 171 Nm

El càlcul s'ha realitzat suposant que era un unió de qualitat normal, però finalment s'han escollit cargols de qualitat 10.9, per tant seria convenient refer el càlcul considerant la unió d'alta qualitat. Així doncs, es determinarà l'assentament i es comprovarà la validesa del càlcul realitzat.

Inicialment es calculen les rigideses del cargol i de les peces

- **Rigidesa del cargol k_c**

Dades [Ref. 4; pàg. 23 i 24]:

Secció resistent de la rosca M14 $A_T = 115\ \text{mm}^2$

Longitud roscada $e_3 = 10$ mm

La peça del disc actua de femella

Mòdul l'elasticitat $E = 2{,}1 \cdot 10^5\ \text{N/mm}^2$

$$k_{rosca} = \frac{A_T \cdot E}{e_3} = \frac{115 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}{10} = 2.415.000\ \text{N/mm} \qquad \text{(Eq. E.33)}$$

$$k_{cap} = k_{femella} = \frac{A_T \cdot E}{e'} = \frac{115 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}{0{,}4 \cdot 14} = 4.312.500\ \text{N/mm} \qquad \text{(Eq. E.34)}$$

$$\frac{1}{k_c} = \frac{1}{k_{rosca}} + \frac{1}{k_{cap}} + \frac{1}{k_{femella}} \rightarrow k_c = 1.139.150{,}94\ \text{N/mm} \qquad \text{(Eq. E.35)}$$

- **Rigidesa de les peces k_p**

Distància entre cares d_e = 22 mm

Gruix de les peces comprimides l_p =10 mm

Diàmetre del forat d_f = 14,5 mm (forat passant)

Es considera peces extenses (Eq. E.36):

$$k_p = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{E_p}{l_p} \left[(d_e + \frac{l_p}{10})^2 - d_f^2 \right] \qquad \text{(Eq. E.36)}$$

$$k_p = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2{,}1 \cdot 10^5}{10} \left[(22 + \frac{10}{10})^2 - 14{,}5^2 \right] = 5.257.285{,}95\ \text{N/mm}$$

- **Càlcul de l'assentament**

Es considera que les superfícies són mecanitzades i per tant l'assentament $\delta_x = 4 \mu m$ (Eq. E.37):

$$\Delta F_M = \delta_x \left(\frac{k_c}{k_c + k_p} \right) k_p = 3745{,}11\text{N} \qquad \text{(Eq. E.37)}$$

Així doncs:

$$F'_{M\,mín} = F_{M\,mín} - \Delta F_M \rightarrow F_{M\,mín} = 38.553{,}11\text{N}$$

Considerant un factor de collada α_c = 1,4 :

$$\alpha_c = \frac{F_{M\,max}}{F_{M\,mín}} \rightarrow F_{M\,màx} = \alpha_c \cdot F_{M\,mín} = 53.974{,}36\ \text{N}$$

En vista d'aquest últim resultat es podria escollir un cargol M12 de qualitat 10.9, però degut a la variabilitat de l'assentament finalment s'acaba optant per mantenir la opció inicial de 4 cargols M14 de qualitat 10.9.

F. Transmissió de forces a terra. Disseny d'un aïllament elàstic

Es tracta de dissenyar un aïllament elàstic per tal d'aïllar el terra de les vibracions i forces originades pel banc d'assaig [Ref. 1].

Un estudi ampli porta a considerar el banc com un sòlid rígid amb els 6 graus de llibertat a l'espai, unit a terra mitjançant elements elàstics, cadascun d'ells amb la hipòtesis de comportament lineal queda caracteritzat per la matriu de 6x6 que relaciona el torsor de les forces que fa sobre la pota corresponent i el moviment d'aquesta.

No obstant alhora de calcular l'aïllament s'introdueix com a simplificació la consideració de la possibilitat de moviment vertical i per tant reduint l'estudi al d'un sistema d'un grau de llibertat. És freqüent que els resultats obtinguts després d'aplicar la solució escollida amb aquesta simplificació siguin prou satisfactoris.

El factor de transmissió FT en un sistema lineal d'un grau de llibertat és la relació entre la força que es transmet a terra i la força d'excitació, i té la següent expressió (Eq. F.1):

$$FT = \frac{\mathrm{F}_{\substack{\text{transmesa}\\ \text{a terra}}}}{\mathrm{F}_{\text{excitació}}} = \frac{\sqrt{1+(2\xi\rho)^2}}{\sqrt{(1-\rho^2)^2+(2\xi\rho)^2}} \qquad \text{(Eq. F.1)}$$

On ξ és la raó d'esmorteïment del sistema i ρ és la raó de freqüència que es defineix com la relació entre la freqüència d'excitació i la freqüència pròpia del sistema (Eq. F.2):

$$\rho = \frac{f_{exc}}{f_0} \qquad \text{(Eq. F.2)}$$

Normalment l'esmorteïment dels suports elàstics en general és petit i sol donar lloc a sistemes amb una raó d'esmorteïment ξ d'alguna dècima que, en principi, es pot negligir en el càlcul de l'aïllament si el règim és estacionari.

L'expressió del factor de transmissió en un sistema lineal d'un grau de llibertat amb esmorteïment negligible es redueix a (Eq. F.3):

$$FT = \frac{1}{\left|1-\rho^2\right|} \qquad \text{(Eq. F.3)}$$

A partir d'aquí, l'aïllament que s'aconsegueix es pot definir com (Eq. F.4):

$$\text{Aïllament} = (1\text{-FT})\cdot 100\ (\%) \qquad \text{(Eq. F.4)}$$

Per tal que l'aïllament sigui efectiu, la raó de freqüència ha de tenir un valor $\rho > \sqrt{2}$ d'aquesta manera i com es pot observar a la gràfica de la Figura F.1 (amb ξ = 0), el factor de transmissió FT és inferior a la unitat, aconseguint reduir les vibracions i la força transmeses.

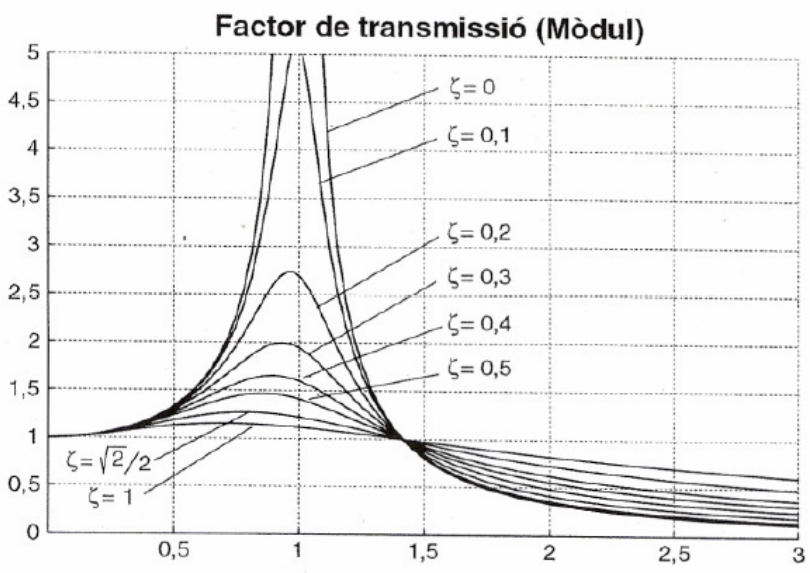
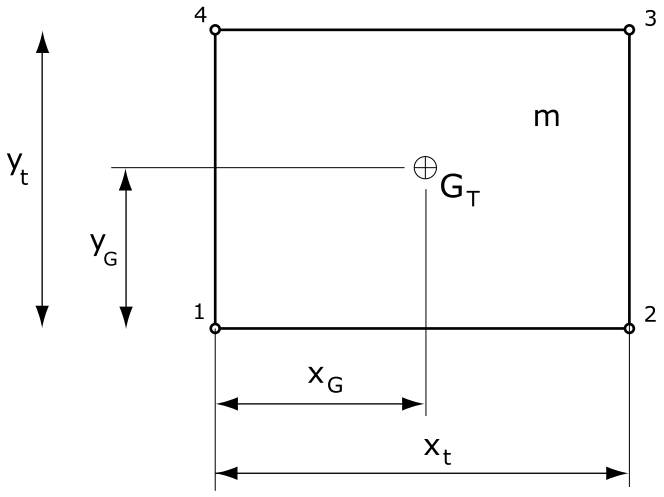


Figura F.1. Factor de transmissió per diferents valors de raó d'esmorteïment ξ

Habitualment, el càlcul de l'aïllament s'haurà de fer per la freqüència més baixa de treball. D'aquesta manera si es garanteix l'aïllament per la freqüència més baixa, per la més alta ja queda assegurada.

El primer pas per calcular l'aïllament és calcular la força estàtica vertical que hauran de suportar els silent blocks degut al propi pes del banc d'assaig.

Com s'ha comentat, l'estudi del sistema es reduirà a 1 grau de llibertat. Per tant, es pot representar el banc mitjançant l'esquema de la Figura F.2, que correspon a la disposició en planta de la posició dels silent blocks i del centre d'inèrcia G del banc:



x_t = 587 mm
y_t = 620 mm
x_G = 311,81 mm
y_G = 215,85 mm
m = 263 kg

Figura F.2. Esquema en planta del banc d'assaig

A continuació es planteja l'equilibri de forces i s'obtenen les 3 equacions següents (Sistema1 : Eq. F.5, Eq. F.6 i Eq. F.7):

$$\sum F_i = 0 \qquad F_1 + F_2 + F_3 + F_4 - mg = 0 \qquad \text{(Eq. F.5)}$$

$$\sum M_x(G) = 0 \qquad -(F_1 + F_2)\cdot y_G + (F_3 + F_4)\cdot (y_t - y_G) = 0 \qquad \text{(Eq. F.6)}$$

$$\sum M_y(G) = 0 \qquad (F_1 + F_4)\cdot x_G + (F_2 + F_3)\cdot (x_t - x_G) = 0 \qquad \text{(Eq. F.7)}$$

Si els suports fossin rígids es presentaria una indeterminació ja que es disposa només de 3 equacions i 4 incògnites. Es suposa que els suports elàstics es seleccionen de manera que la seva deformació estàtica sigui igual per a tots ells a fi que la màquina quedi horitzontal en col·locar-s'hi a sobre. Així doncs, la rigidesa de cada suport és proporcional a la força que fa (Eq. F.8).

$$z_{est} = \frac{F_1}{k_1} = \frac{F_2}{k_2} = \frac{F_3}{k_3} = \frac{F_4}{k_4} \qquad \text{(Eq. F.8)}$$

Per altra banda es considera que els moviments segons *x* i *y* són dinàmicament desacoblats. Aquesta condició permet obtenir els següents resultats:

Gir segons *x* (Eq. F.9):

$$-(k_1 z_1 + k_2 z_2) y_G + (k_3 z_3 + k_4 z_4)(y_t - y_G) = 0 \qquad \text{(Eq. F.9)}$$

En girar respecte y, les deformacions dels suports de 1 i 4 són iguals, i també són iguals les deformacions dels suports 2 i 3.

$$z_1 = z_4$$
$$z_2 = z_3$$

Finalment s'imposa:

$$(k_1 z_1 + k_2 z_2) = 0 \qquad \text{(Eq. F.10)}$$

$$(k_3 z_2 + k_4 z_1) = 0 \qquad \text{(Eq. F.11)}$$

Donada la proporcionalitat entre *k* i *F* exigida anteriorment cal que es compleixi :

$$\Rightarrow \frac{k_1}{k_4} = \frac{k_2}{k_3} \quad \Rightarrow \frac{F_1}{F_4} = \frac{F_2}{F_3} \qquad F_1 F_3 = F_2 F_4 \qquad \text{(Eq. F.12)}$$

Equació que juntament amb el Sistema1 d'equacions (Eq. F.5, Eq. F.6 i Eq. F.7) permet determinar les forces verticals als suports F_i.

Resumint, ara es disposa de 4 equacions i 4 incògnites (Sistema2: Eq. F.5, Eq. F.6, Eq. F.7 i Eq. F.12):

$$\sum F_i = 0 \qquad F_1 + F_2 + F_3 + F_4 - mg = 0 \qquad \text{(Eq. F.5)}$$

$$\sum M_x(G) = 0 \qquad -(F_1 + F_2) \cdot y_G + (F_3 + F_4) \cdot (y_t - y_G) = 0 \qquad \text{(Eq. F.6)}$$

$$\sum M_y(G) = 0 \qquad (F_1 + F_4) \cdot x_G + (F_2 + F_3) \cdot (x_t - x_G) = 0 \qquad \text{(Eq. F.7)}$$

$$\frac{F_1}{F_4} = \frac{F_2}{F_3} \qquad \text{(Eq. F.12)}$$

Resolent el Sistema2 d'equacions s'obtenen que les forces sobre els suports degudes al propi pes del banc són:

$$F_1 = 788{,}44N$$
$$F_2 = 893{,}36N$$
$$F_3 = 477{,}13N$$
$$F_4 = 421{,}09N$$

A partir de la càrrega estàtica que ha d'aguantar cada suport, es seleccionen 4 silent blocks model SG70 de la marca EDDO Comfort, que tenen un rang de càrrega de fins a 350 kg. Es selecciona aquest model que té una major càrrega en previsió d'una força d'amortiment de 10.000 N.

En el catàleg es dóna informació sobre el comportament d'aquests silent blocks en forma de gràfic força-deformació (Figura F.3). A partir d'aquest gràfic es pot calcular el pendent del tram recte comprés entre 0 i 100 kg, i s'obté un valor de rigidesa d'aproximadament *k* = 490,5 N/mm.

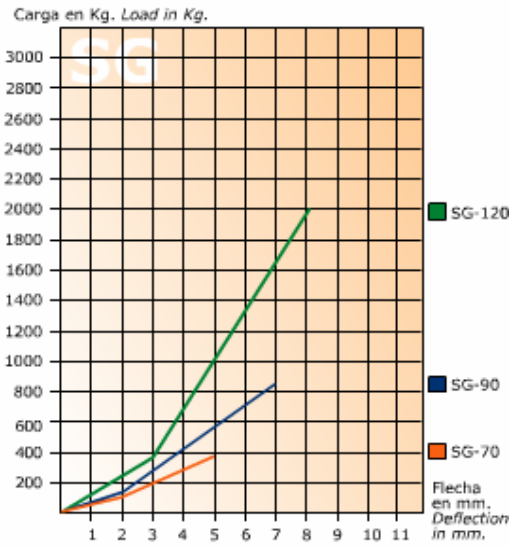


Figura F.3. Gràfic força-deformació del silent block SG-70

Com que els 4 suports estan en paral·lel, la rigidesa total k_{total} del sistema s'obté sumant les rigideses de cada un dels silent blocks:

$$k_{total} = k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1962 \text{ N/mm}$$

Ara es pot calcular la freqüència pròpia del sistema (Eq. F.13):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1962 \cdot 10^3 \text{ N/m}}{263 \text{ kg}}} = 13{,}75 \text{ Hz} \qquad \text{(Eq. F.13)}$$

En el cas del banc d'assaig, la freqüència més baixa d'excitació és de 0,5 Hz (el que correspon a 30 min^{-1}). El problema és que es tracta d'una freqüència molt baixa comparada amb la freqüència pròpia del sistema, amb la qual cosa no es podrà aconseguir una raó de freqüències superior al valor frontera $\sqrt{2}$. Si s'observa la gràfica de la Figura F.1, el sistema es trobaria en la zona d'amplificació de vibracions.

$$\rho = \frac{f}{f_0} = \frac{0{,}5 Hz}{13{,}75 Hz} = 0{,}0364 \qquad \text{(Eq. F.2)}$$

La solució passaria per aconseguir que la raó de freqüències ρ tingui un valor el més pròxim possible a zero i d'aquesta manera evitar la possible amplificació de les vibracions, sent el factor de transmissió FT proper a 1.

$$FT = \frac{1}{\left|1 - \rho^2\right|} = \frac{1}{\left|1 - 0{,}0364^2\right|} = 1{,}001 \qquad \text{(Eq. F.3)}$$

Aïllament = (1-FT)·100 (%) ≈ 0 % (Eq. F.4)

La força d'excitació F_p és deguda al moviment del mecanisme pistó-biela-manovella i la seva amplitud es calcula com (Eq. F.14):

$$F_p = m' \cdot r \cdot \omega^2 = 12 \cdot 0{,}1 \cdot (2\pi 0{,}5)^2 = 11{,}84 \text{ N} \qquad \text{(Eq. F.14)}$$

on *m'* és la massa alternativa del mecanisme pistó-biela-manovella, formada per la massa del pistó i la part de la massa de la biela associada al moviment alternatiu.

La força que es transmet a terra serà (Eq. F.15):

$$F_{\substack{\text{transmesa}\\ \text{a terra}}} = F_p \cdot FT = 11{,}84 \cdot 1{,}001 = 11{,}85\,\text{N} \qquad \text{(Eq. F.15)}$$

Encara que no s'aconsegueix un bon aïllament, la força que es transmet a terra té un valor relativament petit.

També es pot calcular l'amplitud de les vibracions originades, considerant que el sistema es pot descriure com (Eq. F.16 i Eq. F.17):

$$m\ddot{x} + kx = F_p \cos(2\pi f) \qquad \text{(Eq. F.16)}$$

$$x_p = \frac{F_p}{k_{total}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1-\rho^2\right)^2 + (2\xi\rho)^2}} \rightarrow \xi = 0 \rightarrow x_p = \frac{F_p}{k_{total}} \cdot \frac{1}{\left(1-\rho^2\right)} \qquad \text{(Eq. F.17)}$$

$$x_p = \frac{11{,}84N}{1962N/mm} \cdot \frac{1}{1{,}001} = 6{,}030 \cdot 10^{-3}\,\text{mm}$$

El valor és gairebé insignificant.

D'altra banda, com que l'aïllament no queda garantit per la freqüència més baixa, cal veure com es poden arribar a amplificar les vibracions per a la freqüència més alta d'excitació, el valor de la qual és de 2,9 Hz:

$$\rho = \frac{f}{f_0} = \frac{2{,}9\text{Hz}}{13{,}75\text{Hz}} = 0{,}2109 \qquad \text{(Eq. F.2)}$$

$$FT = \frac{1}{\left|1-\rho^2\right|} = \frac{1}{\left|1-0{,}2109^2\right|} = 1{,}046 \qquad \text{(Eq. F.3)}$$

El valor del factor de transmissió continua sent proper a la unitat.

Per a aquest cas l'amplitud de la força d'excitació té el següent valor, on *r* és 0,05 m que és el màxim radi de manovella que es pot utilitzar amb una freqüència de 2,9 Hz :

$$F_p = m' \cdot r \cdot \omega^2 = 12 \cdot 0{,}05 \cdot (2\pi 2{,}9)^2 = 199{,}21\,\text{N} \qquad \text{(Eq. F.14)}$$

La força que es transmet a terra serà (Eq. F.15) :

$$F_{\substack{\text{transmesa}\\ \text{a terra}}} = F_p \cdot FT = 199{,}210 \cdot 1{,}046 = 208{,}37\,\text{N} \qquad \text{(Eq. F.15)}$$

L'amplitud de les vibracions originades en aquest cas és (Eq. F.17):

$$x_p = \frac{199{,}21N}{1962N/mm} \cdot \frac{1}{1{,}046} = 0{,}097\,\text{mm} \qquad \text{(Eq. F.17)}$$

Igual que en el cas anterior, el valor de l'amplitud de les vibracions és molt petit.

En resum, com es pot veure l'opció de posar silent blocks no permetrà reduir les vibracions ni la força transmesa a terra, i inclús les pot amplificar lleugerament.

No obstant, el fet de no poder aïllar les vibracions de manera adequada tampoc representa un problema greu tenint en compte que els valors són bastant petits i que el temps que estarà en funcionament és de l'ordre de pocs minuts. Per l'aïllament en règim transitori tampoc cal preocupar-se, ja que com s'ha vist en l'apartat de simulació, la duració del règim transitori és de l'ordre de mil·lisegons.

Així doncs, en comptes d'unir directament el banc a terra, s'incorporaran els silent blocks a l'estructura de la bancada com a manera elàstica d'enllaçar el banc amb el terra, i a més permetran anivellar el banc.

Nota: no s'han considerat els possibles desequilibraments del motor.

G. Estudi econòmic

En aquest annex es presenta l'estudi econòmic realitzat pel desenvolupament, fabricació i muntatge del banc d'assaig per caracteritzar amortidors.

Per fer l'estudi més clar s'ha dividit el pressupost en les 3 següents partides:

- Cost dels components de sèrie
- Cost dels components de disseny
- Cost d'enginyeria

G.1. Cost dels components de sèrie

Els components de sèrie són aquells que es poden comprar directament, els quals es subministren a través d'empreses distribuïdores.

Els components de sèrie s'han subdividit al seu torn en:

- Elements de l'accionament (Taula G.1)

- Elements estructurals (Taula G.2)

- Elements de fixació (Taula G.3)

- Sensors (Taula G.4)

- Altres elements (Taula G.5)

A continuació es presenta el cost d'aquests components de sèrie. L'impost sobre el valor afegit (IVA) es troba inclòs en el preu de cada element.

G.1.1. Elements de l'accionament

Dins dels elements de l'accionament s'inclouen el motorreductor i el variador de freqüència de control vectorial. En la Taula G.1 es detalla el seu cost.

Element	Descripció	Preu unitari (€/unitat)	Quant.	Cost (€)
Motorreductor	Bonfiglioli C612P 15,9 S4 B3 M4 SA4 220/400-50	739,50	1	739,50
Variador de freq. de control vectorial	Bonfiglioli model ACT401-019 FA3 a 400V	499,73	1	499,73
Subtotal dels elements de l'accionament				**1239,23**

Taula G.1. Cost dels elements de l'accionament

G.1.2. Elements estructurals

Com a elements estructurals s'han considerat tots aquells elements de l'estructura que es poden comprar directament sense necessitat de mecanitzar-los posteriorment. A continuació es detalla en la Taula G.2 el cost dels elements estructurals que es requereixen.

Element	Descripció	Massa unitària (kg)	Preu (€/kg)	Preu unitari (€/unitat)	Quant.	Cost (€)
Biga IPN160	Celsa L=800 mm	17,173	0,78	-	2	26,79
Suport del variador	Acc. Bonfiglioli (tam. 3)			1,50	2	3,00
Subtotal dels elements estructurals						**29,79**

Taula G.2. Cost dels elements estructurals

G.1.3. Elements de fixació

Com a elements de fixació s'han considerat tots els cargols, femelles, volanderes i distanciadors utilitzats. En la Taula G.3 es mostra el cost que representen.

Element	Descripció	Preu unitari (€/unitat)	Quantitat	Cost (€)
Cargol hexagonal M14x40	ISO 4017	0,15	4	0,60
Cargol cap rodó amb ranura M5x12	ISO 1207	0,07	12	0,84
Cargol hexagonal M16x65	ISO 4017	0,08	4	0,32
Cargol Allen M12x25	ISO 4762	0,08	2	0,16
Cargol hexagonal M12x25	ISO 4017	0,08	2	0,16
Cargol hexagonal M16x50	ISO 4017	0,08	1	0,08
Cargol moletejat M6x20	DIN 464	0,05	3	0,15
Espàrrec amb hexàgon interior M6	ISO 4026	0,05	1	0,05
Femella hexagonal M16	ISO 4032	0,08	4	0,32
Femella hexagonal M5	ISO 4032	0,08	4	0,32
Femella hexagonal M20	ISO 4032	0,08	2	0,16
Femella hexagonal M30	ISO 4032	0,08	2	0,16
Femella hexagonal M14	ISO 4032	0,08	2	0,16
Femella hexagonal M12	ISO 4032	0,08	1	0,08
Femella hexagonal M6	ISO 4035	0,08	3	0,24
Distanciador	∅=14 , L=7,25mm	0,02	1	0,02

Volandera grower	DIN127/B ∅14	0,05	4	0,20
Volandera silent block	ISO 7089 ∅12	0,05	4	0,20
Volandera motor	ISO 7089 ∅16	0,05	4	0,20
Volandera suport superior	ISO 7089 ∅20	0,05	2	0,10
Subtotal dels elements de fixació				**4,52**

Taula G.3. Cost dels elements de fixació

G.1.4. Sensors

En la Taula G.4 es troba el cost dels sensors necessaris per mesurar força, desplaçament i temperatura.

Element	Descripció	Preu unitari (€/unitat)	Quant.	Cost
Cèl·lula de càrrega	Magtrol ZP-S 10kN	185,00	1	185,00
Sensor de desplaçament LVDT	Micro Epsilon LVP-200	410,00	1	410,00
Sensor de temperatura RDT	MINCO S100725	25,70	1	25,70
Subtotal dels sensors				**620,70**

Taula G.4. Cost dels sensors

G.1.5. Altres elements

Dins d'altres elements s'han inclòs els silent blocks, els caps de ròtula, els coixinets antifricció i el passador de la maneta. En la Taula G.5 es detalla el cost d'aquests elements.

Element	Descripció	Preu unitari (€/unitat)	Quantitat	Cost
Silent Block	EDDO Comfort model SG70	1,81	4	7,24
Caps de ròtula	ELGES DIN648 GAKKR14	25,21	2	50,24
Coixinet antifricció	Selfoil B-50-60-50/70-5	0,99	2	1,98
Passador cilíndric maneta	ISO 2338 ;∅12x L=120mm	0,12	1	0,12
Subtotal d'altres elements				**59,76**

Taula G.5. Cost d'altres elements

G.1.6. Cost total dels components de sèrie

En la Taula G.6 i en el gràfic de sectors de la Figura G.1 es resumeixen els costos dels diferents grups d'elements de sèrie presentats anteriorment i es presenta el cost total dels components de sèrie.

Element	Cost (€)
Elements de l'accionament	1239,23
Elements estructurals	29,79
Elements de fixació	4,52
Sensors	620,70
Altres elements	59,76
Cost total dels components de sèrie	**1954,00**

Taula G.6. Cost total dels components de sèrie

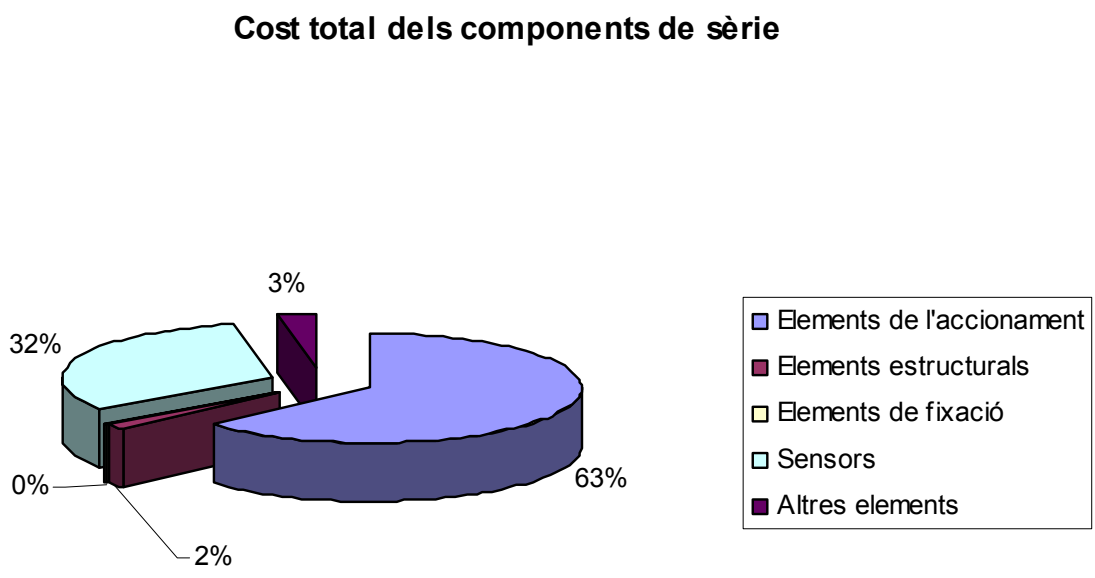


Figura G.1. Cost total dels components de sèrie

G.2. Cost dels components de disseny

A continuació es detallen aquells components que per les seves característiques s'han de dissenyar i fabricar expressament pel banc d'assaig, o bé es poden comprar directament però requereixen certes operacions de mecanitzat posterior.

Per definir el cost d'aquests components s'haurà de tenir en compte el cost del material necessari per la fabricació de les peces i el cost del procés de fabricació que s'utilitza.

G.2.1. Cost del material

En aquest apartat es presenta el cost del material necessari per a la fabricació de les diferents peces del banc d'assaig. Per a cada element s'indica la massa de material inicial necessària abans de mecanitzar. Per tal de fer-ho més clar, s'agrupen les peces segons el subconjunt al qual pertanyen.

Per a la fabricació de les diferents peces s'utilitzen diferents tipus d'acers, però tenint en compte que les variacions de preus entre els diferents tipus d'acers són petites, per fer el pressupost es considerarà un preu únic de 0,78 €/kg per tots els tipus d'acer.

Tots els preus inclouen el 16% d'impost sobre el valor afegit (IVA).

Subconjunt de la bancada

A continuació es detallen en la Taula G.7 els elements pertanyents a la bancada que s'han de fabricar expressament i el cost de material corresponent.

Element	Massa abans de mecanitzar (kg)	Preu (€/kg)	Quant.	Cost (€)
Suport inferior de les columnes	24,024	0,78	1	18,74
Suport variador a la bancada	7,35	0,78	1	5,73

Placa de suport	3,015	0,78	2	4,70
Base	9,705	0,78	1	7,57
Subtotal del material dels elements de la bancada				**36,74**

Taula G.7. Cost de material dels elements de la bancada

Subconjunt del mecanisme

A continuació es detallen en la Taula G.8 els elements pertanyents al mecanisme que s'han de fabricar expressament i el cost de material corresponent.

Element	Massa abans de mecanitzar (kg)	Preu (€/kg)	Quant.	Cost (€)
Tub de la biela	0,75	0,78	1	0,59
Barra inferior amortidor	8,50	0,78	1	6,63
Tub columna alt	1,627	0,78	1	1,27
Tub columna baix	0,478	0,78	1	0,37
Subjecció (2)	2,75	0,78	1	2,15
Subjecció biela (3)	2,387	0,78	1	1,86
Disc de la manovella	30,50	0,78	1	23,79
Botó	5,60	0,78	1	4,37
Passador (1)	0,15	0,78	1	0,12
Passador inferior (2)	0,15	0,78	1	0,12
Subtotal del material dels elements del mecanisme				**41,26**

Taula G.8. Cost de material dels elements del mecanisme

Subconjunt de la zona d'assaig

A continuació es detallen en la Taula G.9 els elements pertanyents a la zona d'assaig que s'han de fabricar expressament i el cost de material corresponent.

Element	Massa abans de mecanitzar (kg)	Preu (€/kg)	Quant.	Cost (€)
Tubs de les columnes	8,027	0,78	2	12,52
Postís inferior columna M30	1,323	0,78	2	2,06
Postís superior columna M20	2,867	0,78	2	4,47
Suport superior	26,50	0,78	1	20,67
Barra central roscada	4,10	0,78	1	3,20
Subjecció cèl·lula de càrrega (1)	2,387	0,78	1	1,86
Topall columna	0,25	0,78	3	0,59
Suport LVP-200	0,60	0,78	1	0,47
Subtotal dels elements de la zona d'assaig				**33,32**

Taula G.9. Cost de material dels elements de la zona d'assaig

G.2.2. Cost de fabricació

El cost de fabricació es planteja segons el temps de mecanitzat que requereix cada peça en un centre de mecanitzat.

Es considera un cost de 30 €/hora (0,50 €/min) en un centre de mecanitzat. Aquest cost inclou operacions de mecanitzat, roscat, tornejat, tall i doblegament de xapa entre d'altres.

Igual que en l'apartat anterior, es presenten les peces agrupades segons el subconjunt al qual pertanyen.

Subconjunt de la bancada

A continuació es detallen en la Taula G.10 els elements pertanyents a la bancada que s'han de fabricar expressament i el cost de fabricació que suposen.

Element	Temps de treball (min)	Quantitat	Cost (€)
Suport inferior de les columnes	15	1	7,50
Suport variador en la bancada	5	1	2,50
Placa de suport	5	2	5,00
Base	5	1	2,50
Subtotal de fabricació dels elements de la bancada			**17,50**

Taula G.10. Cost de fabricació dels elements de la bancada

Subconjunt del mecanisme

A continuació es detallen en la Taula G.11 els elements pertanyents al mecanisme que s'han de fabricar expressament i el cost de fabricació que suposen.

Element	Temps de treball (min)	Quantitat	Cost (€)
Tub de la biela	3	1	1,50
Barra inferior amortidor	10	1	5,00
Tub columna alt	2	1	1,00
Tub columna baix	2	1	1,00
Subjecció (2)	10	1	5,00
Subjecció biela (3)	10	1	5,00
Disc de la manovella	20	1	10,00
Botó	15	1	7,50
Passador (1)	2	1	1,00
Passador inferior (2)	2	1	1,00
Subtotal de fabricació dels elements del mecanisme			**38,00**

Taula G.11. Cost de fabricació dels elements del mecanisme

Subconjunt de la zona d'assaig

A continuació es detallen en la Taula G.12 els elements pertanyents a la zona d'assaig que s'han de fabricar expressament i el cost de fabricació que suposen.

Element	Temps de treball (min)	Quantitat	Cost (€)
Tubs de les columnes	3	2	3,00
Postís inferior columna M30	15	2	15,00
Postís superior columna M20	15	2	15,00
Suport superior	5	1	2,50
Barra central roscada	5	1	2,50
Subjecció cèl·lula de càrrega (1)	10	1	5,00
Topall columna	2	3	3,00
Suport LVP-200	3	1	1,50
Subtotal de fabricació dels elements de la zona d'assaig			**47,50**

Taula G.12. Cost de fabricació dels elements de la zona d'assaig

G.2.3. Cost total dels components de disseny

En la següent Taula G.13 i en el gràfic de sectors de la Figura G.2 es resumeixen els costos totals referents al material necessari i a la fabricació.

Concepte	Cost (€)
Cost de material	111,32
Cost de fabricació	103,00
Cost total dels components de disseny	**214,32**

Taula G.13. Cost total dels components de disseny

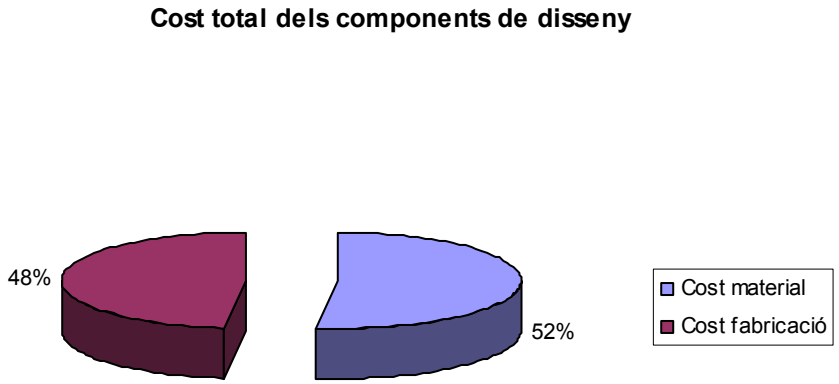


Figura G.2. Cost total dels components de disseny

G.3. Cost d'enginyeria

Dins de costos d'enginyeria es contempla els recursos humans i els recursos materials necessaris per realitzar el banc d'assaig per caracteritzar amortidors.

G.3.1. Cost de recursos humans d'enginyeria

Els recursos humans inclouen tot el treball propi d'estudi, disseny, càlculs, elaboració de plànols i també el muntatge del banc i la posada en marxa. En la Taula G.14 es detallen aquests costos. S'ha considerat que el sou d'un enginyer junior no titulat en pràctiques és de 6 €/hora.

Concepte	Professional	Quantitat	Preu(€/h)	Temps (h)	Cost (€)
Estudi preliminar	Enginyer	1	6	50	300
Concepció, disseny i càlculs	Enginyer	1	6	250	1500
Elaboració de plànols	Enginyer	1	6	100	600
Preparació de documentació	Enginyer	1	6	100	600
Muntatge, soldadura i posada en marxa	Muntador	1	15	50	750
Subtotal recursos humans					**3750**

Taula G.14. Cost de recursos humans d'enginyeria

G.3.2. Cost de recursos materials d'enginyeria

Els recursos materials inclouen conceptes com llicències de software, material d'oficina, o bé despeses com desplaçaments, electricitat,... En la següent Taula G.15 es mostren aquests costos.

Concepte	Cost (€)
Llicències de software	300
Documentació (material d'oficina, despeses d'enquadernació, ...)	100
Altres despeses (desplaçaments, electricitat, manteniment,...)	125
Subtotal recursos materials	**525**

Taula G.15. Cost de recursos materials d'enginyeria

G.3.3. Cost total d'enginyeria

En la Taula G.16 i gràfic de sectors de la Figura G.3 es resumeixen els costos referents a recursos humans i recursos materials d'enginyeria.

Concepte	Cost(€)
Recursos humans	3750
Recursos materials	525
Cost total d'enginyeria	**4275**

Taula G.16. Cost total d'enginyeria

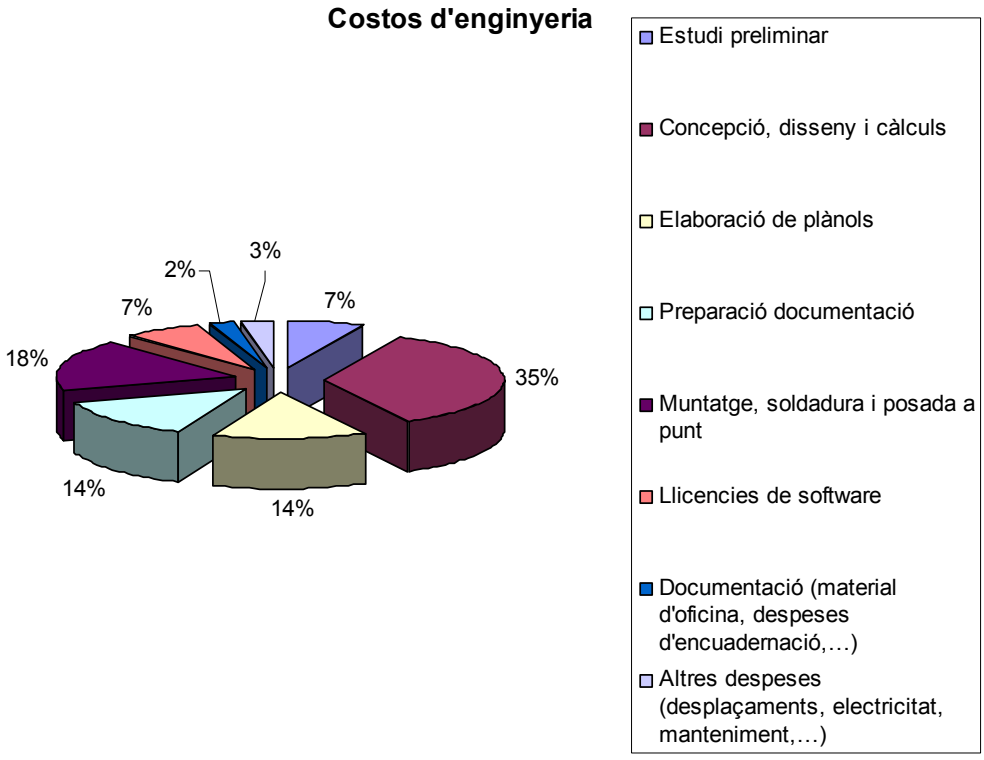


Figura G.3. Cost total d'enginyeria

G.4. Cost total del banc d'assaig

Finalment es presenten tots els costos en la Taula G.17 i en el gràfic de sectors de la Figura G.4, i s'obté el cost total del banc d'assaig per caracteritzar amortidors.

Concepte	Cost (€)
Cost dels components de sèrie	1954,00
Cost dels components de disseny	214,32
Cost d'enginyeria	4275
TOTAL	**6443,32**

Taula G.17. Cost total del banc d'assaig

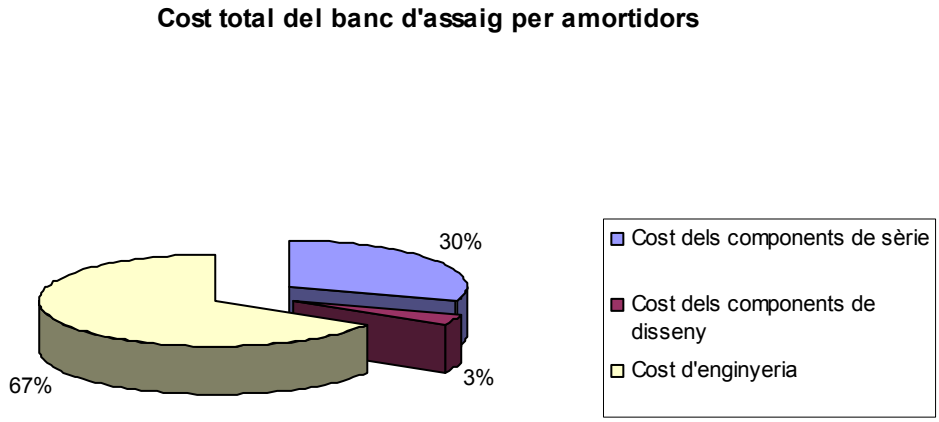


Figura G.4. Cost total del banc d'assaig

H. Catàlegs

En aquest annex s'inclou informació comercial dels catàlegs dels diversos elements de sèrie que component el banc d'assaig.

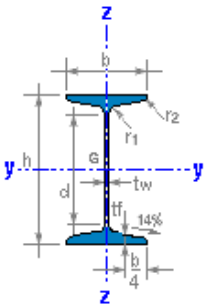
H.1. Perfil IPN160 Celsa

Perfil CELSA Versión 1.01

Propiedades Geométricas y Mecánicas

GRUPO CELSA

IPN 160



h = 160 mm	r2 = 3,8 mm
tf = 9,5 mm	b = 74 mm
r1 = 6,3 mm	d = 125,8 mm
tw = 6,3 mm	
A = 22,8 cm2	M = 17,9 kg/m
Iy = 935,0 cm4	Iz = 54,7 cm4
Wy = 116,9 cm3	Wz = 14,8 cm3
Wply = 136,0 cm3	Wplz = 24,9 cm3
iy = 6,40 cm	iz = 1,55 cm
It = 6,6 cm4	Iw = 3140 cm6
Sy = 68,0 cm3	Avz = 10,83 cm2
sy = 13,8 cm	
AL = 0,575 m2/m	AG = 32,13 m2/t

H.2. Silent blocks EDDO Comfort SG70

PRODUCTO

Serie SG

AIRPACK

MITSA

Sector Climatización Doméstica

Sector Climatización Industrial

Sector Industria

Aplicaciones:

- Aire Acondicionado
- Motores y Bombas
- Cuadros Eléctricos
- Maquinaria de Laboratorio
- Compresores
- Ventiladores Axiales y Centrífugos
- Máquina Herramienta
- Inyectoras de Plástico
- Maquinaria Envase y Embalaje

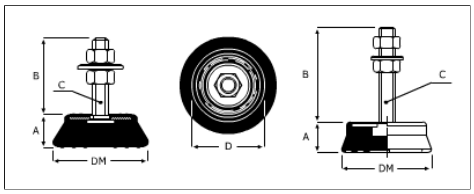
Serie SG
La serie SG 30/60 está compuesta por amortiguadores de caucho-metal, especialmente indicada para soportar elásticamente maquinaria protegiendo el entorno de la transmisión de vibraciones, impactos y ruido estructural. Las características a destacar de estos soportes antivibratorios son:
- Geometría exclusiva más evolucionada y sólida que la tradicional de los pies de máquina en forma de trapecio invertido. Reparte mejor los esfuerzos y por el dibujo en su base favorece el agarre y evita que pivoten las máquinas.
- Formulación de caucho natural normalizada especialmente ideada para evitar el agrietamiento por la acción del ozono y ambientes agresivos.
- Excelente aislamiento a medias y altas frecuencias (de 1500 rpm en adelante).
- Los espárragos de fijación y nivelación son largos para facilitar la colocación, posterior limpieza del suelo y mantenimiento de la máquina. Están protegidos con un baño galvánico de zinc de 12 micras.

Los modelos SG-70/120 forman una subdivisión dentro de los modelos que componen la serie SG. Se caracterizan por estar especialmente diseñados para soportar grandes cargas dinámicas y golpes tanto transitorios como impulsivos. Están fabricados en caucho natural normalizado. Se puede fabricar en caucho sintético para ambientes agresivos o bien para entornos donde se aplican normas de higiene en los procesos de fabricación (partes metálicas en inox).

Dimensiones y Análisis Físico

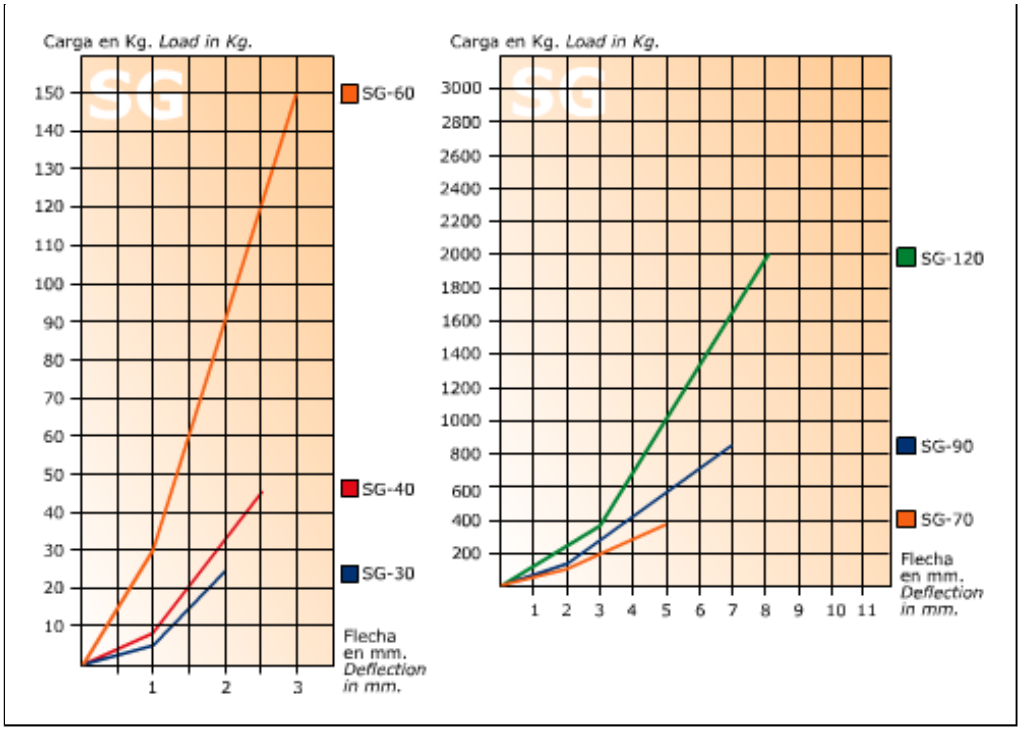
Ref.	Modelo *Model*	Carga en kg. *Load in kg.* min-max	Flecha en mm. *Deflection in mm.* min-max	Sobrecarga admisible transitoria *Admissible temporary overload*	Dimensiones en mm. *Dimensions in mm.* A	B	C	D	DM	Versión espárrago *Version with bolt or Threacted*
18032255	**SG 30**	5 - 25	1 - 2	100 %	12	18	M 8/M 10	30	40	Fijo / Fix
18040255	**SG 40**	8 - 45	1 - 2,5	50 %	17	45	M 8	38	50	Fijo / Fix
18060256	**SG 60**	25 - 150	1 - 3	50 %	20	80	M 10	52	58	Extraible/Threaded
18070266	**SG 70**	80 - 350	1,5 - 5	20 %	26	80	M 12	68	74	Extraible/Threaded
18090266	**SG 90**	150 - 850	2 - 7	20 %	35	100	M 14	92	108	Extraible/Threaded
18120276	**SG 120**	390 - 2000	3 - 8	15 %	42	120	M 16	120	140	Extraible/Threaded

Click botón derecho sobre la imagen para ampliarla o imprimirla.



Click botón derecho sobre la imagen para ampliarla o imprimirla.

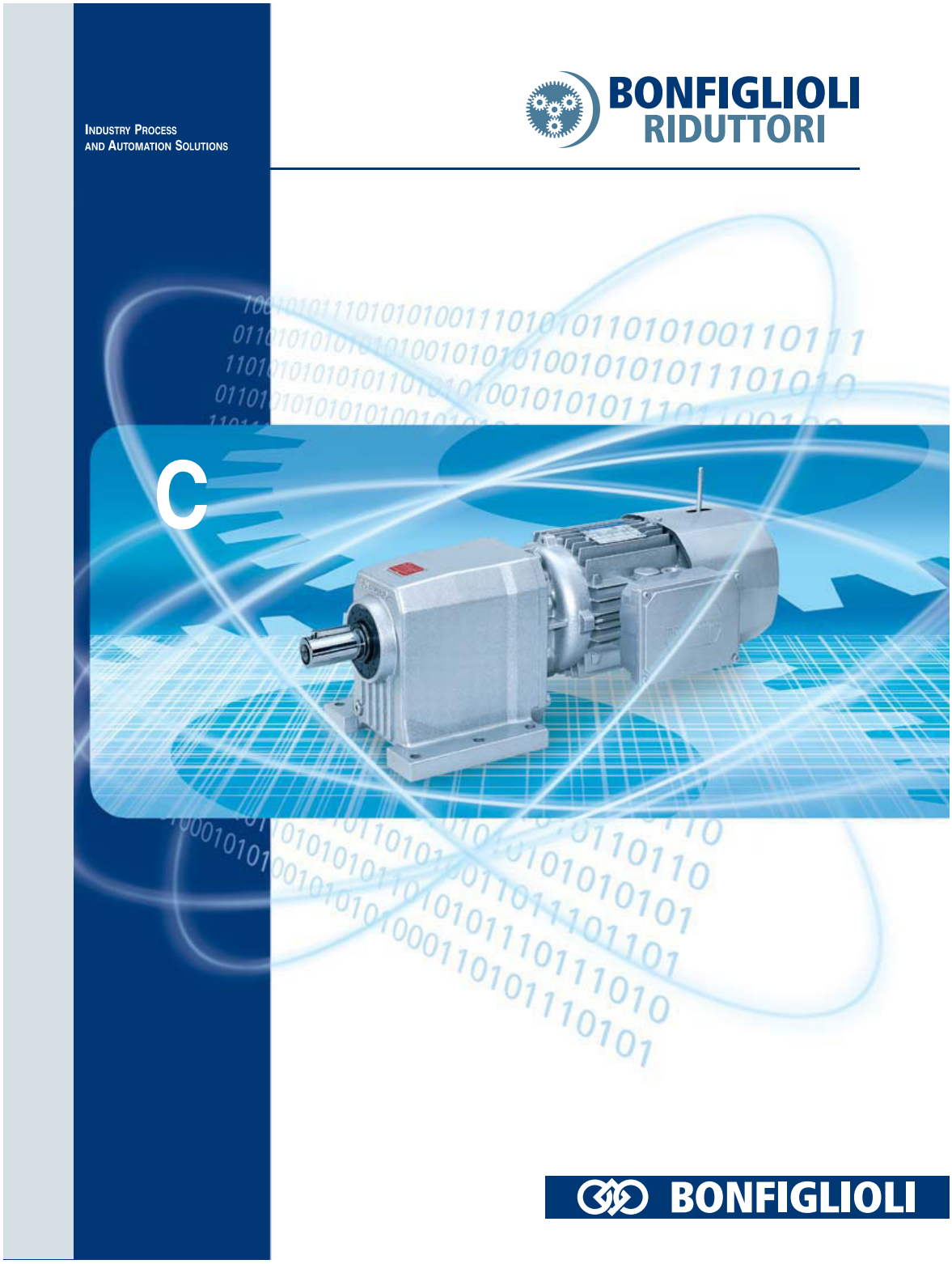
Condiciones de ensayo:
Realizado con dinamómetro hidráulico a velocidad de 2 mm/min. Tras 3 compresiones previas a condiciones normales. Para cargas puntuales superiores, contacten con nuestro departamento técnico.



Click botón derecho sobre la imagen para ampliarla o imprimirla.

EDDO COMFORT PRODUCTS, S.L.
Tel.: 902 364 453

H.3. Motorreductor Bonfiglioli C612P 15,9 S4 B3 M4SA4



19 - DESIGNAZIONE ***19 - DESIGNATION*** **19 - BEZEICHNUNG** ***19 - DESIGNATION***

RIDUTTORE / *GEAR UNIT*
GETRIEBE / *REDUCTEUR*

C 31 2 F 52.4 S1 B5 .....

OPZIONI / *OPTIONS*
OPTIONEN / *OPTIONS*

22

POSIZIONE DI MONTAGGIO / *MOUNTING POSITION*
EINBAULAGEN / *POSITION DE MONTAGE*

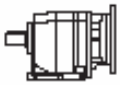
C...P: **B3** (Standard), B6, B7, B8, V5, V6
C...F/U/UF: **B5** (Standard), B51, B53, B52, V1, V3

25

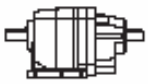
DESIGNAZIONE INGRESSO / *INPUT CONFIGURATION*
BEZEICHNUNG DER ANTRIEBSSEITE / *DESIGNATION ENTREE*

(C05...C100)

S0
S05
S1
S2
S3
S4
S5


(C11...C100)

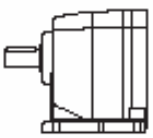
P63 **P160**
P71 **P180**
P80 **P200**
P90 **P225**
P100 **P250**
P112 **P280**
P132

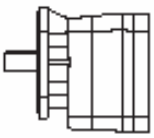

(C11...C100)

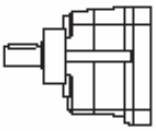
HS

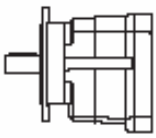
RAPPORTO DI RIDUZIONE / *GEAR RATIO*
ÜBERSETZUNG / *RAPPORT DE REDUCTION*

FORMA COSTRUTTIVA / *VERSION* / BAUFORM /*FORME DE CONSTRUCTION*


P
(C05...C100)


F
(C05...C31)
(C70...C100)


U
(C11...C61)


UFA
UFB
UFC
(C11...C61)

STADI DI RIDUZIONE / *REDUCTIONS*
GETRIEBESTUFEN / *ETAGES DE REDUCTION*

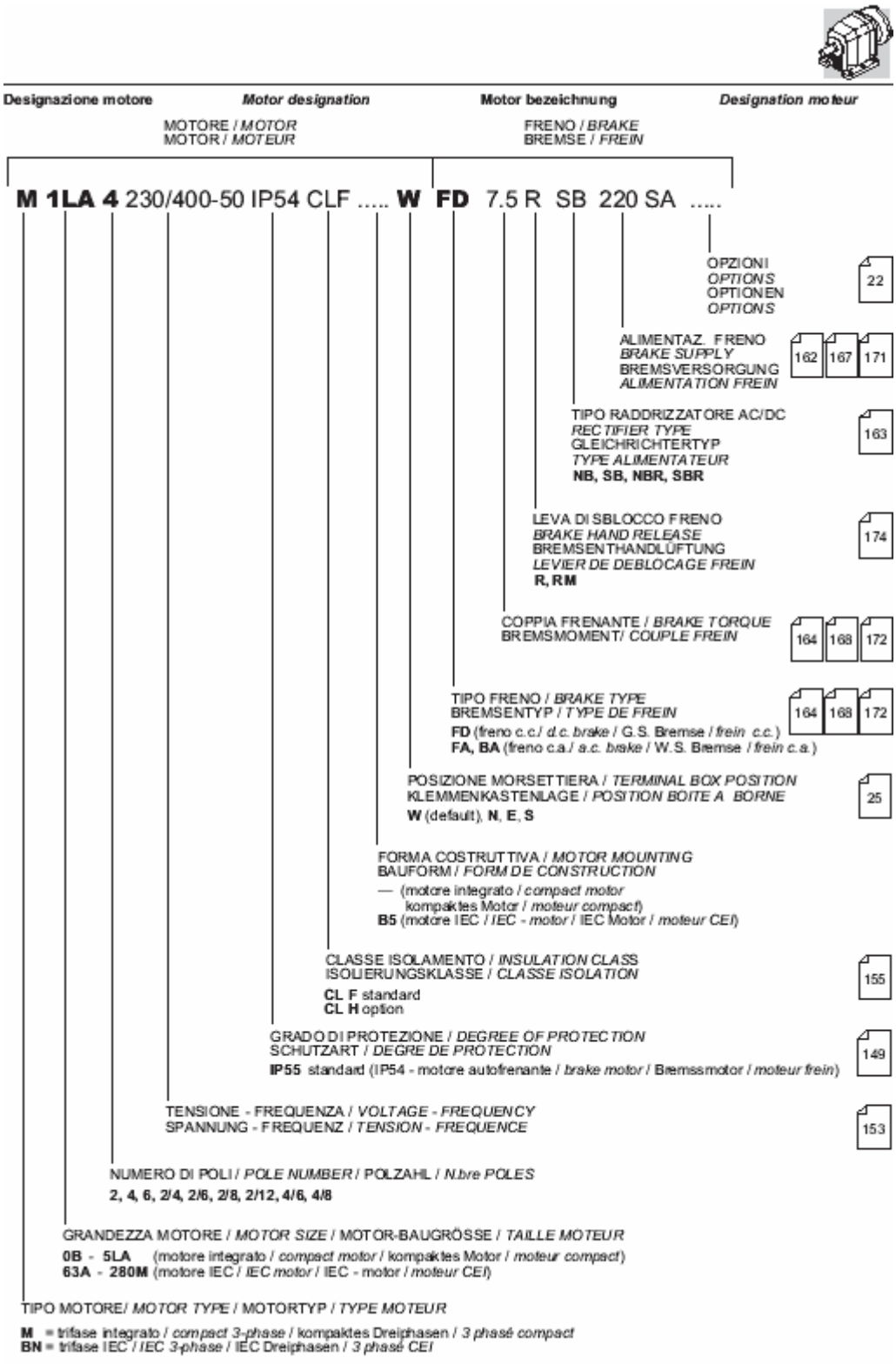
2, 3, 4

GRANDEZZA RIDUTTORE / *GEAR FRAME SIZE* / GETRIEBEBAUGRÖSSE / *TAILLE REDUCTEUR*

05, 11, 21, 31, 35, 41, 51, 61, 70, 80, 90, 100

TIPO RIDUTTORE: **C** = coassiale
GETRIEBETYP: **C** = Stirnradgetriebe

GEARBOX TYPE: ***C** = helical in-line*
TYPE DU REDUCTEUR: ***C** = coaxial*


Designazione motore
Motor designation
Motor bezeichnung
Designation moteur
MOTORE / MOTOR
MOTOR / MOTEUR
FRENO / BRAKE
BREMSE / FREIN
M 1LA 4 230/400-50 IP54 CLF ..... W FD 7.5 R SB 220 SA .....
OPZIONI
OPTIONS
OPTIONEN
OPTIONS
22
ALIMENTAZ. FRENO
BRAKE SUPPLY
BREMSVERSORGUNG
ALIMENTATION FREIN
162 167 171
TIPO RADDRIZZATORE AC/DC
RECTIFIER TYPE
GLEICHRICHTERTYP
TYPE ALIMENTATEUR
NB, SB, NBR, SBR
163
LEVA DI SBLOCCO FRENO
BRAKE HAND RELEASE
BREMSENTHANDLÜFTUNG
LEVIER DE DEBLOCAGE FREIN
R, RM
174
COPPIA FRENANTE / BRAKE TORQUE
BREMSMOMENT/ COUPLE FREIN
164 168 172
TIPO FRENO / BRAKE TYPE
BREMSENTYP / TYPE DE FREIN
FD (freno c.c./ d.c. brake / G.S. Bremse / frein c.c.)
FA, BA (freno c.a./ a.c. brake / W.S. Bremse / frein c.a.)
164 168 172
POSIZIONE MORSETTIERA / TERMINAL BOX POSITION
KLEMMENKASTENLAGE / POSITION BOITE A BORNE
W (default), N, E, S
25
FORMA COSTRUTTIVA / MOTOR MOUNTING
BAUFORM / FORM DE CONSTRUCTION
— (motore integrato / compact motor
kompaktes Motor / moteur compact)
B5 (motore IEC / IEC - motor / IEC Motor / moteur CEI)
CLASSE ISOLAMENTO / INSULATION CLASS
ISOLIERUNGSKLASSE / CLASSE ISOLATION
CL F standard
CL H option
155
GRADO DI PROTEZIONE / DEGREE OF PROTECTION
SCHUTZART / DEGRE DE PROTECTION
IP55 standard (IP54 - motore autofrenante / brake motor / Bremssmotor / moteur frein)
149
TENSIONE - FREQUENZA / VOLTAGE - FREQUENCY
SPANNUNG - FREQUENZ / TENSION - FREQUENCE
153
NUMERO DI POLI / POLE NUMBER / POLZAHL / N.bre POLES
2, 4, 6, 2/4, 2/6, 2/8, 2/12, 4/6, 4/8
GRANDEZZA MOTORE / MOTOR SIZE / MOTOR-BAUGRÖSSE / TAILLE MOTEUR
0B - 5LA (motore integrato / compact motor / kompaktes Motor / moteur compact)
63A - 280M (motore IEC / IEC motor / IEC - motor / moteur CEI)
TIPO MOTORE/ MOTOR TYPE / MOTORTYP / TYPE MOTEUR
M = trifase integrato / compact 3-phase / kompaktes Dreiphasen / 3 phasé compact
BN = trifase IEC / IEC 3-phase / IEC Dreiphasen / 3 phasé CEI

4 kW

n_2 min^{-1}	M_2 Nm	S	i	R_{n2} N										
621	58	3.4	4.6	2720	C352_ 4.6	S3	M3LB2	110	C352_ 4.6	P112 BN112M2	121
768	47	2.5	3.7	2250	C312_ 3.7	S3	M3LB2	117	C312_ 3.7	P112 BN112M2	120
774	47	1.5	3.7	1450	C212_ 3.7	S3	M3LB2	114	C212_ 3.7	P112 BN112M2	115
997	36	2.9	2.9	2100	C312_ 2.9	S3	M3LB2	117	C312_ 2.9	P112 BN112M2	118
1054	34	1.9	2.7	1370	C212_ 2.7	S3	M3LB2	114	C212_ 2.7	P112 BN112M2	115

5.5 kW

3.8	12630	1.0	380.5	85000	C1004_380.5	S4	M4SA4	141	C1004_380.5	P132 BN132S4	142
4.4	10741	1.1	323.6	85000	C1004_323.6	S4	M4SA4	141	C1004_323.6	P132 BN132S4	142
4.8	9974	1.2	300.5	85000	C1004_300.5	S4	M4SA4	141	C1004_300.5	P132 BN132S4	142
5.5	8730	1.4	263.0	85000	C1004_263.0	S4	M4SA4	141	C1004_263.0	P132 BN132S4	142
5.9	8106	1.5	244.2	85000	C1004_244.2	S4	M4SA4	141	C1004_244.2	P132 BN132S4	142
6.2	7691	0.9	231.7	60000	C904_ 231.7	S4	M4SA4	138	C904_ 231.7	P132 BN132S4	139
6.8	7050	1.0	212.4	60000	C904_ 212.4	S4	M4SA4	138	C904_ 212.4	P132 BN132S4	139
7.2	6625	1.8	199.6	85000	C1004_199.6	S4	M4SA4	141	C1004_199.6	P132 BN132S4	142
8.4	5838	1.2	172.1	60000	C903_ 172.1	S4	M4SA4	138	C903_ 172.1	P132 BN132S4	139
9.6	5103	2.4	150.4	85000	C1003_150.4	S4	M4SA4	141	C1003_150.4	P132 BN132S4	142
9.8	4964	1.5	146.3	60000	C903_ 146.3	S4	M4SA4	138	C903_ 146.3	P132 BN132S4	139
12.1	4052	1.0	119.5	35000	C803_ 119.5	S4	M4SA4	135	C803_ 119.5	P132 BN132S4	136
12.3	3960	1.8	116.7	60000	C903_ 116.7	S4	M4SA4	138	C903_ 116.7	P132 BN132S4	139
14.8	3304	1.2	97.4	35000	C803_ 97.4	S4	M4SA4	135	C803_ 97.4	P132 BN132S4	136
15.0	3265	2.2	96.2	60000	C903_ 96.2	S4	M4SA4	138	C903_ 96.2	P132 BN132S4	139
17.7	2755	2.6	81.2	59100	C903_ 81.2	S4	M4SA4	138	C903_ 81.2	P132 BN132S4	139
18.7	2609	1.5	76.9	35000	C803_ 76.9	S4	M4SA4	135	C803_ 76.9	P132 BN132S4	136
20.2	2420	1.0	71.3	25000	C703_ 71.3	S4	M4SA4	132	C703_ 71.3	P132 BN132S4	133
20.4	2392	1.7	70.5	35000	C803_ 70.5	S4	M4SA4	135	C803_ 70.5	P132 BN132S4	136
21.9	2234	1.0	65.9	25000	C703_ 65.9	S4	M4SA4	132	C703_ 65.9	P132 BN132S4	133
25.1	1944	2.1	57.3	35000	C803_ 57.3	S4	M4SA4	135	C803_ 57.3	P132 BN132S4	136
25.5	1917	1.2	56.5	25000	C703_ 56.5	S4	M4SA4	132	C703_ 56.5	P132 BN132S4	133
27.6	1770	1.3	52.2	24700	C703_ 52.2	S4	M4SA4	132	C703_ 52.2	P132 BN132S4	133
30	1616	1.0	47.6	15300	C613_ 47.6	S4	M4SA4	129	C613_ 47.6	P132 BN132S4	130
30	1609	2.4	47.4	35000	C803_ 47.4	S4	M4SA4	135	C803_ 47.4	P132 BN132S4	136
32	1516	1.5	44.7	24100	C703_ 44.7	S4	M4SA4	132	C703_ 44.7	P132 BN132S4	133
33	1475	2.6	43.5	35000	C803_ 43.5	S4	M4SA4	135	C803_ 43.5	P132 BN132S4	136
33	1474	1.1	43.4	15000	C613_ 43.4	S4	M4SA4	129	C613_ 43.4	P132 BN132S4	130
35	1400	1.6	41.3	23800	C703_ 41.3	S4	M4SA4	132	C703_ 41.3	P132 BN132S4	133
37	1355	2.4	39.1	35000	C802_ 39.1	S4	M4SA4	135	C802_ 39.1	P132 BN132S4	136
38	1317	1.0	38.0	14800	C612_ 38.0	S4	M4SA4	129	C612_ 38.0	P132 BN132S4	130
41	1204	1.7	34.7	22100	C702_ 34.7	S4	M4SA4	132	C702_ 34.7	P132 BN132S4	133
42	1186	1.0	34.2	14500	C612_ 34.2	S4	M4SA4	129	C612_ 34.2	P132 BN132S4	130
46	1086	3.4	31.3	33400	C802_ 31.3	S4	M4SA4	135	C802_ 31.3	P132 BN132S4	136
47	1055	1.3	30.4	14300	C612_ 30.4	S4	M4SA4	129	C612_ 30.4	P132 BN132S4	130
48	1020	1.0	30.1	9610	C513_ 30.1	S4	M4SA4	126	C513_ 30.1	P132 BN132S4	127
52	961	2.2	27.7	21200	C702_ 27.7	S4	M4SA4	132	C702_ 27.7	P132 BN132S4	133
52	931	1.0	27.4	9490	C513_ 27.4	S4	M4SA4	126	C513_ 27.4	P132 BN132S4	127
53	950	1.4	27.4	13900	C612_ 27.4	S4	M4SA4	129	C612_ 27.4	P132 BN132S4	130
58	860	1.6	24.8	13700	C612_ 24.8	S4	M4SA4	129	C612_ 24.8	P132 BN132S4	130
62	809	1.0	23.4	9310	C512_ 23.4	S4	M4SA4	126	C512_ 23.4	P132 BN132S4	127
63	792	2.7	22.9	20400	C702_ 22.9	S4	M4SA4	132	C702_ 22.9	P132 BN132S4	133
64	775	1.7	22.4	13400	C612_ 22.4	S4	M4SA4	129	C612_ 22.4	P132 BN132S4	130
69	726	1.1	21.0	9150	C512_ 21.0	S4	M4SA4	126	C512_ 21.0	P132 BN132S4	127
73	679	2.0	19.6	13100	C612_ 19.6	S4	M4SA4	129	C612_ 19.6	P132 BN132S4	130
75	668	3.1	19.3	19700	C702_ 19.3	S4	M4SA4	132	C702_ 19.3	P132 BN132S4	133
76	655	1.2	18.9	9030	C512_ 18.9	S4	M4SA4	126	C512_ 18.9	P132 BN132S4	127
82	612	2.2	17.7	12700	C612_ 17.7	S4	M4SA4	129	C612_ 17.7	P132 BN132S4	130
87	575	1.4	16.6	8810	C512_ 16.6	S4	M4SA4	126	C512_ 16.6	P132 BN132S4	127
90	552	2.4	15.9	12500	C612_ 15.9	S4	M4SA4	129	C612_ 15.9	P132 BN132S4	130
98	519	1.5	15.0	8660	C512_ 15.0	S4	M4SA4	126	C512_ 15.0	P132 BN132S4	127
100	497	2.7	14.3	12100	C612_ 14.3	S4	M4SA4	129	C612_ 14.3	P132 BN132S4	130
101	494	0.9	14.2	4000	C412_ 14.2	S4	M4SA4	123	C412_ 14.2	P132 BN132S4	124
110	455	1.6	13.1	8420	C512_ 13.1	S4	M4SA4	126	C512_ 13.1	P132 BN132S4	127
116	429	1.0	12.4	4060	C412_ 12.4	S4	M4SA4	123	C412_ 12.4	P132 BN132S4	124

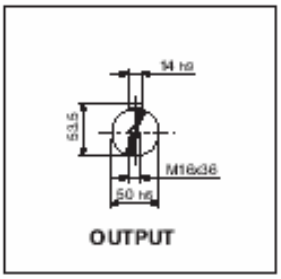
5.5 kW

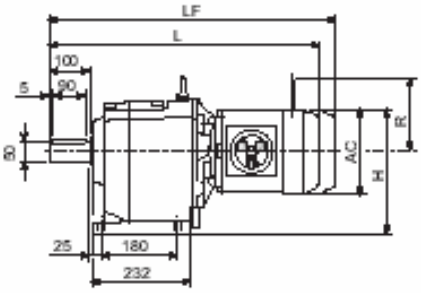
n_2 min^{-1}	M_2 Nm	S	i	R_{n2} N										
119	419	3.2	12.1	11600	C812_	12.1	S4	M4SA4	131	C812_	12.1	P132	BN132S4	130
122	410	1.9	11.8	8250	C512_	11.8	S4	M4SA4	126	C512_	11.8	P132	BN132S4	127
129	387	1.1	11.2	4030	C412_	11.2	S4	M4SA4	123	C412_	11.2	P132	BN132S4	124
148	338	2.0	9.8	7890	C512_	9.8	S4	M4SA4	126	C512_	9.8	P132	BN132S4	127
150	333	1.2	9.6	4030	C412_	9.6	S4	M4SA4	123	C412_	9.6	P132	BN132S4	124
164	305	2.2	8.8	7700	C512_	8.8	S4	M4SA4	126	C512_	8.8	P132	BN132S4	127
167	299	1.3	8.6	3980	C412_	8.6	S4	M4SA4	123	C412_	8.6	P132	BN132S4	124
186	269	2.4	7.8	7460	C512_	7.8	S4	M4SA4	126	C512_	7.8	P132	BN132S4	127
204	245	1.4	7.1	3920	C412_	7.1	S4	M4SA4	123	C412_	7.1	P132	BN132S4	124
206	242	2.6	7.0	7280	C512_	7.0	S4	M4SA4	126	C512_	7.0	P132	BN132S4	127
226	221	1.6	6.4	3840	C412_	6.4	S4	M4SA4	123	C412_	6.4	P132	BN132S4	124
240	208	3.2	6.0	9480	C812_	6.0	S4	M4SA4	129	C812_	6.0	P132	BN132S4	130
242	206	1.3	6.0	3430	C412_	6.0	S4	M4SA4	123	C412_	6.0	P132	BN132S4	124
256	195	2.2	5.6	6720	C512_	5.6	S4	M4SA4	126	C512_	5.6	P132	BN132S4	127
259	193	1.7	11.2	3770	C412_	11.2	S4	M4SA2	123	C412_	11.2	P132	BN132SA2	124
282	191	1.3	3.6	3410	C412_	3.6	S4	M4LB6	123	C412_	3.6	P132	BN132MB6	124
286	175	2.4	3.3	6530	C512_	3.3	S4	M4LB6	126	C512_	3.3	P132	BN132MB6	127
301	166	1.9	9.6	3680	C412_	9.6	S4	M4SA2	123	C412_	9.6	P132	BN132SA2	124
309	162	1.6	4.7	3360	C412_	4.7	S4	M4SA4	123	C412_	4.7	P132	BN132S4	124
323	154	2.8	4.5	6330	C512_	4.5	S4	M4SA4	126	C512_	4.5	P132	BN132S4	127
334	149	2.0	8.6	3600	C412_	8.6	S4	M4SA2	123	C412_	8.6	P132	BN132SA2	124
355	140	1.7	2.7	3300	C412_	2.7	S4	M4LB6	123	C412_	2.7	P132	BN132MB6	124
359	139	2.9	2.6	6150	C512_	2.6	S4	M4LB6	126	C512_	2.6	P132	BN132MB6	127
399	125	2.0	3.6	3240	C412_	3.6	S4	M4SA4	123	C412_	3.6	P132	BN132S4	124
409	122	2.3	7.1	3460	C412_	7.1	S4	M4SA2	123	C412_	7.1	P132	BN132SA2	124
454	110	2.5	6.4	3370	C412_	6.4	S4	M4SA2	123	C412_	6.4	P132	BN132SA2	124
485	103	2.5	6.0	3140	C412_	6.0	S4	M4SA2	123	C412_	6.0	P132	BN132SA2	124
542	92	2.7	2.7	3070	C412_	2.7	S4	M4SA4	123	C412_	2.7	P132	BN132S4	124
620	81	3.2	4.7	2990	C412_	4.7	S4	M4SA2	123	C412_	4.7	P132	BN132SA2	124

7.5 kW

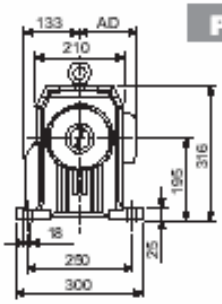
5.5	11904	1.0	263.0	85000	C1004_	263.0	S4	M4LA4	141	C1004_	263.0	P132	BN132MA4	142
7.2	9034	1.3	199.6	85000	C1004_	199.6	S4	M4LA4	141	C1004_	199.6	P132	BN132MA4	142
8.4	7961	0.9	172.1	60000	C903_	172.1	S4	M4LA4	138	C903_	172.1	P132	BN132MA4	139
9.6	6958	1.7	150.4	85000	C1003_	150.4	S4	M4LA4	141	C1003_	150.4	P132	BN132MA4	142
9.8	6769	1.1	146.3	59600	C903_	146.3	S4	M4LA4	138	C903_	146.3	P132	BN132MA4	139
12.3	5400	1.3	116.7	58600	C903_	116.7	S4	M4LA4	138	C903_	116.7	P132	BN132MA4	139
12.9	5176	2.3	111.9	85000	C1003_	111.9	S4	M4LA4	141	C1003_	111.9	P132	BN132MA4	142
16.1	4129	1.0	89.3	35000	C803_	89.3	S4	M4LA4	135	C803_	89.3	P132	BN132MA4	136
16.3	4081	1.7	88.2	56600	C903_	88.2	S4	M4LA4	138	C903_	88.2	P132	BN132MA4	139
16.8	3958	3.0	85.6	85000	C1003_	85.6	S4	M4LA4	141	C1003_	85.6	P132	BN132MA4	142
19.3	3444	2.1	74.4	55200	C903_	74.4	S4	M4LA4	138	C903_	74.4	P132	BN132MA4	139
20.4	3261	1.2	70.5	35000	C803_	70.5	S4	M4LA4	135	C803_	70.5	P132	BN132MA4	136
23.0	2891	1.4	62.5	35000	C803_	62.5	S4	M4LA4	135	C803_	62.5	P132	BN132MA4	136
24.3	2738	2.6	59.2	53000	C903_	59.2	S4	M4LA4	138	C903_	59.2	P132	BN132MA4	139
27.6	2413	1.0	52.2	22900	C703_	52.2	S4	M4LA4	132	C703_	52.2	P132	BN132MA4	133
30	2195	1.7	47.4	35000	C803_	47.4	S4	M4LA4	135	C803_	47.4	P132	BN132MA4	136
32	2068	1.1	44.7	22500	C703_	44.7	S4	M4LA4	132	C703_	44.7	P132	BN132MA4	133
35	1909	1.2	41.3	22300	C703_	41.3	S4	M4LA4	132	C703_	41.3	P132	BN132MA4	133
37	1848	1.7	39.1	33600	C802_	39.1	S4	M4LA4	135	C802_	39.1	P132	BN132MA4	136
40	1672	0.9	36.1	13300	C613_	36.1	S4	M4LA4	129	C613_	36.1	P132	BN132MA4	130
41	1642	1.3	34.7	20500	C702_	34.7	S4	M4LA4	132	C702_	34.7	P132	BN132MA4	133
44	1525	1.0	33.0	13100	C613_	33.0	S4	M4LA4	129	C613_	33.0	P132	BN132MA4	130
46	1481	2.5	31.3	32200	C802_	31.3	S4	M4LA4	135	C802_	31.3	P132	BN132MA4	136
47	1439	0.9	30.4	13000	C612_	30.4	S4	M4LA4	129	C612_	30.4	P132	BN132MA4	130
49	1358	1.1	29.4	13100	C613_	29.4	S4	M4LA4	129	C613_	29.4	P132	BN132MA4	130
52	1310	1.6	27.7	20000	C702_	27.7	S4	M4LA4	132	C702_	27.7	P132	BN132MA4	133
53	1296	1.0	27.4	12800	C612_	27.4	S4	M4LA4	129	C612_	27.4	P132	BN132MA4	130
55	1226	3.0	25.9	31000	C802_	25.9	S4	M4LA4	135	C802_	25.9	P132	BN132MA4	136
58	1173	1.2	24.8	12700	C612_	24.8	S4	M4LA4	129	C612_	24.8	P132	BN132MA4	130
60	1132	3.1	24.0	30500	C802_	24.0	S4	M4LA4	135	C802_	24.0	P132	BN132MA4	136
63	1080	1.9	22.9	19400	C702_	22.9	S4	M4LA4	132	C702_	22.9	P132	BN132MA4	133

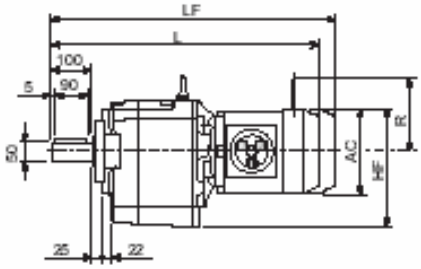
C 61...M



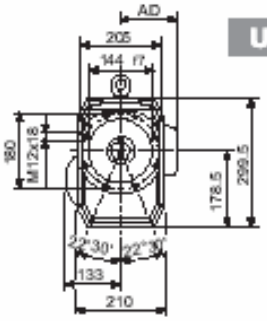


P

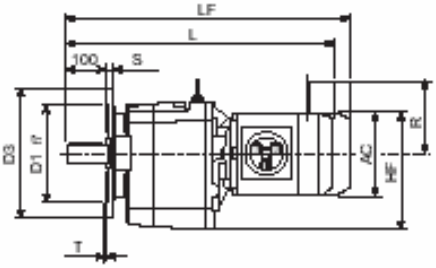




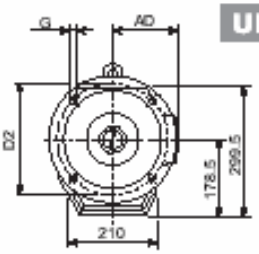
U



C 61_U						
	D1	D2	D3	G	T	S
FA	230	265	300	14	4	16
FB	250	300	350	18	5	18

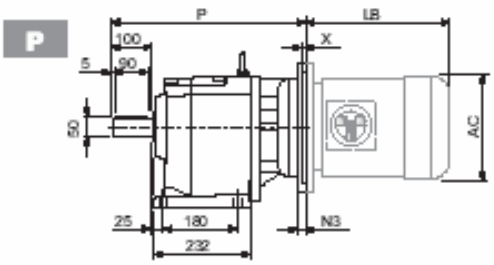


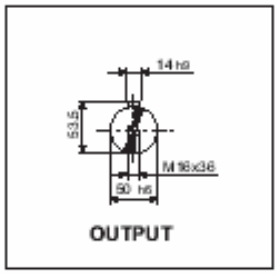
UF

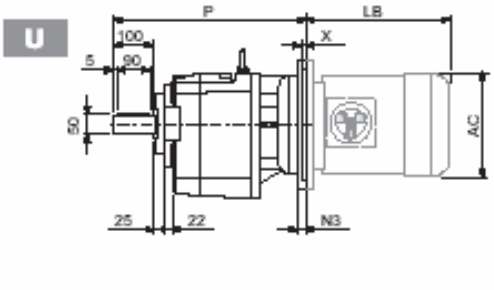


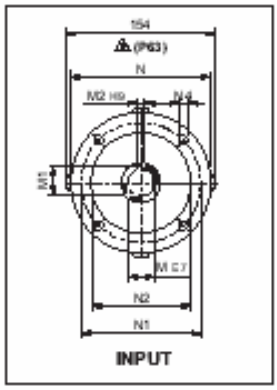
C 61													
								M...FD M...FA		M...FD		M...FA	
			AC	H	HF	L	AD		LF		R	AD	R	AD
C 61 2/3	S2	M2S	156	273	256.5	598.5	119	61	669.5	65	129	143	134	119
C 61 2/3	S3	M3S	195	292.5	276	642.5	142	66	738.5	74	160	155	160	142
C 61 2/3	S3	M3L	195	292.5	276	674.5	142	74	765.5	81	160	155	160	142
C 61 2/3	S4	M4	258	324	307.5	782.5	193	108	891.5	126	226	193	217	193
C 61 2/3	S4	M4LC	258	324	307.5	817.5	193	116	916.5	134	226	193	217	193
C 61 2/3	S5	M5S	310	350	333.5	869	245	136	1009	166	266	245	247	245
C 61 2/3	S5	M5L	310	350	333.5	913	245	152	1053	182	266	245	247	245
C 61 4	S1	M1S	138	264	247.5	617	108	69	680	72	103	132	124	108
C 61 4	S1	M1L	138	264	247.5	641	108	71	702	74	103	132	124	108
C 61 4	S2	M2S	156	273	256.5	669	119	75	740	78	129	143	134	119
C 61 4	S3	M3S	195	292.5	276	713	142	79	809	87	160	155	160	142
C 61 4	S3	M3L	195	292.5	276	745	142	87	836	94	160	155	160	142

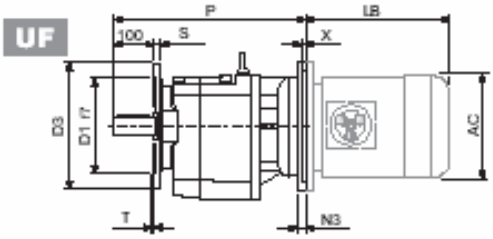
C 61...P(IEC)







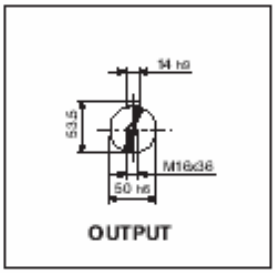


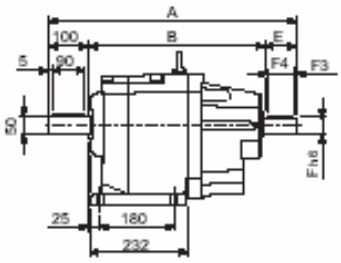


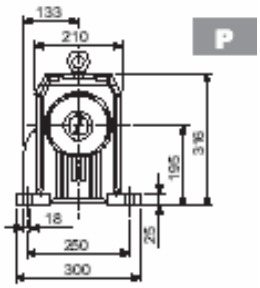
C 61_U						
	D1	D2	D3	G	T	S
FA	230	265	300	14	4	16
FB	250	300	350	18	5	18

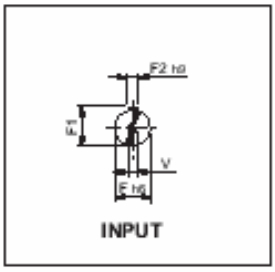
C 61													BN...		BN...FD BN...FA	
		M	M1	M2	N	N1	N2	N3	N4	X	P			LB	AC	LB	AC
C 612/3	P63	11	12.8	4	140	115	95	—	M8x19	4	415.5	55	BN 63	184	121	249	121
C 612/3	P71	14	16.3	5	160	130	110	—	M8x16	4.5	415.5	57	BN 71	219	138	280	138
C 612/3	P80	19	21.8	6	200	165	130	—	M10x12	4	435	61	BN 80	234	156	306	156
C 612/3	P90	24	27.3	8	200	165	130	—	M10x12	4	435	61	BN 90	276	176	359	176
C 612/3	P100	28	31.3	8	250	215	180	—	M12x16	4.5	444	65	BN 100	307	195	398	195
C 612/3	P112	28	31.3	8	250	215	180	—	M12x16	4.5	444	65	BN 112	325	219	424	219
C 612/3	P132	38	41.3	10	300	265	230	16	14	5	481.5	68	BN 132	413	258	523	258
C 612/3	P160	42	45.3	12	350	300	250	23	18	5.5	532	73	BN 160MR	452	258	562	258
													BN 160M/L	486	310	626	310
C 612/3	P180	48	51.8	14	350	300	250	23	18	5.5	532	73	BN 180M	530	310	670	310
													BN 180L	598	348	756	348
C 614	P63	11	12.8	4	140	115	95	—	M8x19	4	486	61	BN 63	184	121	249	121
C 614	P71	14	16.3	5	160	130	110	—	M8x16	4.5	489	63	BN 71	219	138	280	138
C 614	P80	19	21.8	6	200	165	130	—	M10x12	4	505.5	67	BN 80	234	156	306	156
C 614	P90	24	27.3	8	200	165	130	—	M10x12	4	505.5	67	BN 90	276	176	359	176
C 614	P100	28	31.3	8	250	215	180	—	M12x16	4.5	515.5	71	BN 100	307	195	398	195
C 614	P112	28	31.3	8	250	215	180	—	M12x16	4.5	515.5	71	BN 112	325	219	424	219

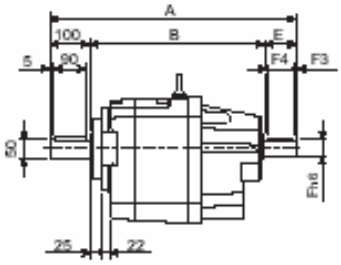
C 61...HS

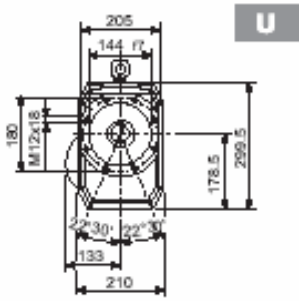




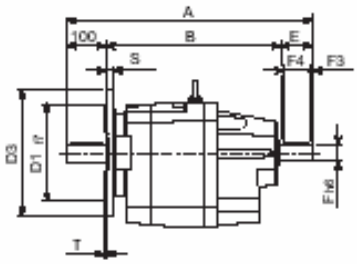


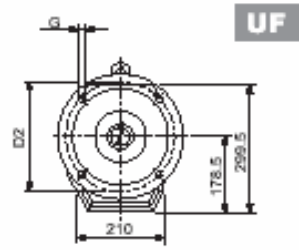






C 61_U						
	D1	D2	D3	G	T	S
FA	230	265	300	14	4	16
FB	250	300	350	18	5	18



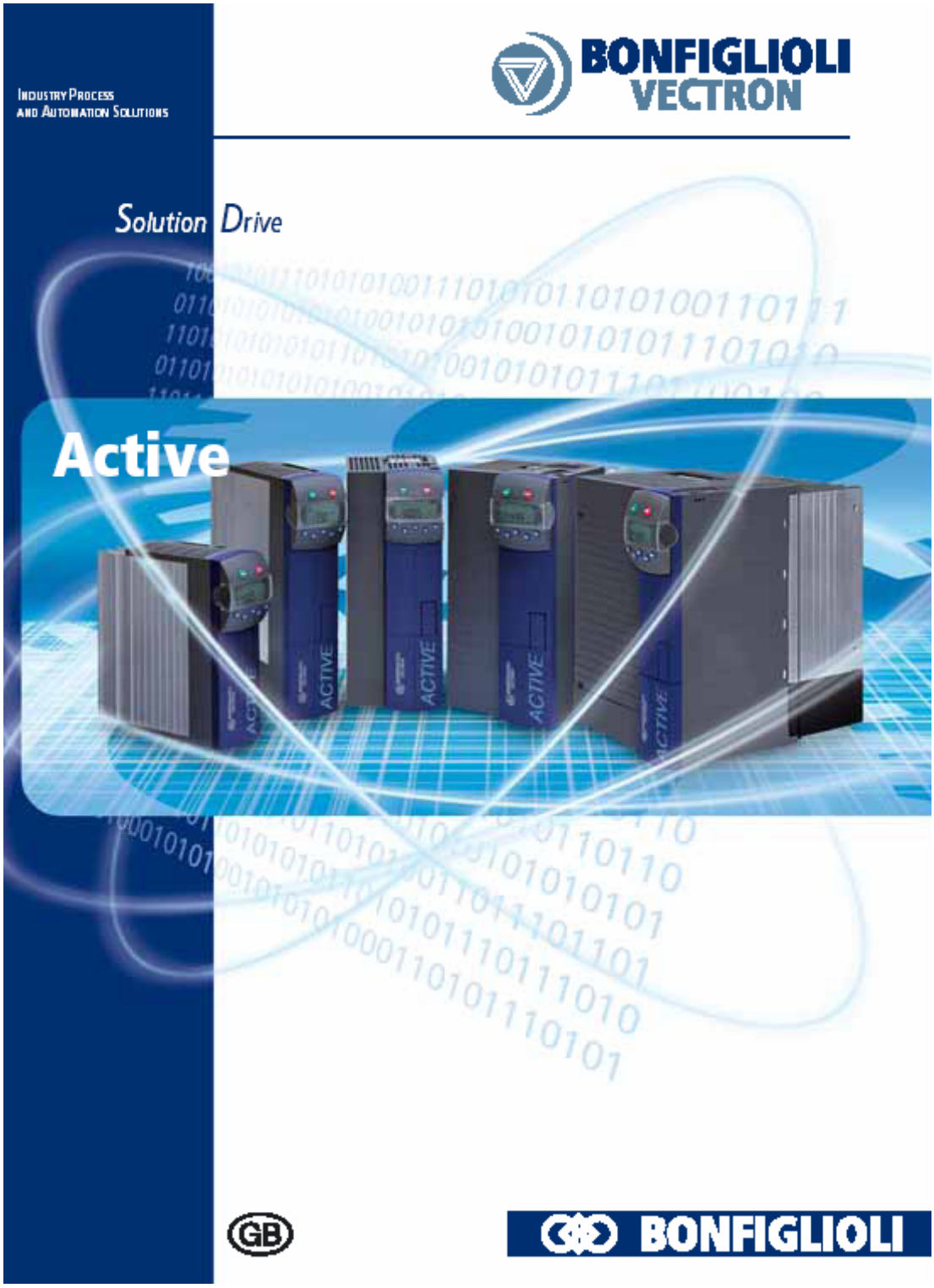


C 61										
		A	B	E	F	F1	F2	F3	F4	V	
C 61 2	HS	532	372	60	28	31	8	5	50	M10x22	66
C 61 3		532	372	60	28	31	8	5	50	M10x22	66
C 61 4		575	425	50	24	27	8	2.5	45	M8x19	72

4 P — 1500 min^{-1} - S1 — 50 Hz

														freno c.c. / *d.c. brake* G.S.-bremse / *frein c.c.* FD						freno c.a. / *a.c. brake* W.S.-bremse / *frein c.a.* FA				
Pn kW		n min^{-1}	Mn Nm	EFF 2	η (100%) %	η (75%) %	cos φ	In [400V] A	Is/In	Ms/Mn	Ma/Mn	Jm x 10^{-4} kgm^2	IM B9 Kg	Mod	Mb Nm	Z_o 1/h NB	Z_o 1/h SB	Jm x 10^{-4} Kgm^2	IM B9 Kg	Mod.	Mb Nm	Z_o 1/h	Jm x 10^{-4} kgm^2	IM B9 Kg
0.09	**M 0B 4**	1350	0.64		51.7	47.6	0.60	0.42	2.6	2.5	2.4	1.5	2.9											
0.12	**M 05A 4**	1350	0.85		59.8	56.2	0.62	0.47	2.6	1.9	1.8	2.0	3.2	**FD 02**	1.75	10000	13000	2.6	4.9	**FA 02**	1.75	13000	2.6	4.7
0.18	**M 05B 4**	1320	1.30		54.8	52.9	0.67	0.71	2.6	2.2	2.0	2.3	3.6	**FD 02**	3.5	10000	13000	3.0	5.3	**FA 02**	3.5	13000	3.0	5.1
0.25	**M 05C 4**	1340	1.78		65.3	65.0	0.69	0.80	2.7	2.1	1.9	3.3	4.8	**FD 02**	3.5	7800	10000	3.9	6.5	**FA 02**	3.5	10000	3.9	6.3
0.37	**M 1SD 4**	1370	2.6		66.8	66.7	0.76	1.05	3.7	2	1.9	6.9	5.5	**FD 03**	5	6000	9400	8.0	8.2	**FA 03**	5	9400	8.0	7.9
0.55	**M 1LA 4**	1380	3.8		69.0	68.9	0.74	1.55	4.1	2.3	2.3	9.1	6.9	**FD 53**	7.5	4300	8700	10.2	9.6	**FA 03**	7.5	8700	10.2	9.3
0.75	**M 2SA 4**	1400	5.1		75.0	74.5	0.76	1.85	4.9	2.7	2.5	20	9.2	**FD 04**	15	4100	7800	22	13.1	**FA 04**	15	7800	22	13
1.1	**M 2SB 4**	1400	7.5	EFF 2	76.4	76.2	0.76	2.66	5.1	2.8	2.5	25	10.6	**FD 04**	15	2600	5300	27	14.5	**FA 04**	15	5300	27	14.4
1.5	**M 3SA 4**	1410	10.2	EFF 2	79.6	80.5	0.77	3.5	4.6	2.1	2.1	34	15.5	**FD 15**	26	2800	4900	38	22	**FA 15**	26	4900	38	23
2.2	**M 3LA 4**	1410	14.9	EFF 2	81.1	81.4	0.75	5.2	4.5	2.2	2	40	17	**FD 15**	40	2600	4700	44	24	**FA 15**	40	4700	44	24
3	**M 3LB 4**	1410	20	EFF 2	82.6	83.8	0.77	6.8	5	2.3	2.2	54	21	**FD 15**	40	2400	4400	58	27	**FA 15**	40	4400	58	28
4	**M 3LC 4**	1400	27		82.7	83.1	0.78	9.0	4.7	2.3	2.2	61	23	**FD 55**	55	—	1300	65	29	**FA 15**	40	1300	65	30
5.5	**M 4SA 4**	1440	36	EFF 2	86.3	86.4	0.80	11.5	5.5	2.3	2.2	213	42	**FD 56**	75	—	1050	223	55	**FA 06**	75	1050	223	56
7.5	**M 4LA 4**	1440	50	EFF 2	87	87.1	0.80	15.6	5.7	2.5	2.4	270	51	**FD 06**	100	—	950	280	64	**FA 07**	100	950	280	65
9.2	**M 4LB 4**	1440	61	EFF 2	88.4	88.6	0.80	18.8	5.9	2.7	2.5	319	57	**FD 07**	150	—	900	342	73	**FA 07**	150	900	342	75
11	**M 4 LC 4**	1440	73	EFF 2	88.4	88.8	0.81	22.2	5.9	2.7	2.5	360	65	**FD 07**	150	—	850	382	81	**FA 07**	150	850	382	83
15	**M 5SB 4**	1460	98	EFF 2	89.9	89.4	0.81	29.7	5.9	2.3	2.1	650	85	**FD 08**	200	—	750	725	115	**FA 08**	200	750	710	114
18.5	**M 5LA 4**	1460	121	EFF 2	90.0	90.1	0.81	37	6.2	2.6	2.5	790	101	**FD 08**	250	—	700	865	131	**FA 08**	250	700	850	130

H.4. Variador de freqüència de control vectorial Bonfiglioli ACT401-019



INDUSTRY PROCESS
AND AUTOMATION SOLUTIONS

Active 401/201 Inverter

Bonfiglioli Active frequency converters are powerful and innovative units specifically designed to control electric motors in sophisticated automation systems.

Bonfiglioli Active range includes both single and three phase units for mains voltages of 230 V or 400 V, ranging from 0.55 kW to 65 kW.

Power ratings within Active range have been chosen to ensure a perfect match with Bonfiglioli motor ratings. The use of Active drives together with Bonfiglioli electric motors exploits at best technical synergy between these two product series.

Hardware flexibility is a fundamental feature of Active range, and is achieved by means of a generous selection of expansion and communication modules that can be used to "configure" inverters to suit specific application requirements.

Active 401/201 is a "System Drive". Thanks to integrated PLC functions and wide connectivity with mostly used bus systems, Active 401/201 integrates seamlessly with a vast range of automation solutions.

Other main features of Active series:

- extremely compact dimensions
- accurate motor control and silent running, thanks to an 8 kHz switching frequency without derating
- easy mounting and connections, with a large number of panel mounting kits and easy disconnectable terminal strips
- exceptional software configurability through a streamlined, intuitive user interface
- versatile control, with very few configuration parameters needed to drive synchronous and asynchronous, feedback and sensorless, braked and brakeless motors
- choice of motor control technologies, including robust scalar control, vectorial sensorless control and accurate field-oriented feedback control: Active frequency converters provide an adequate level of accuracy and dynamics to satisfy the needs of a wide range of applications
- speed and position synchronisation in "multi-drive" automation systems
- extensive choice of accessories, all guaranteed and tested with Active drives, including mains side inductors, EMC filters and braking resistors

Active frequency converters provide the perfect control solution for any application, from the simplest machine automation systems to the most complex control architectures granting perfectly repeatable high-tech results.

The range of BONFIGLIOLI frequency inverters

VCB series 37 ... 800 kW

ACTIVE series 0,55 ... 65 kW

SYNPLUS series 0,37 ... 11 kW

SYNTHESIS series 0,2 ... 2,2 kW

LMD series 0,37 ... 3,0 kW

Designation

ACT401-15 F A MPSV EMSYS CMCAN KP500

USER INTERFACE
KP500 = programming control unit
KP232 = RS232 serial interface

COMMUNICATION MODULES
CM-CAN = CANopen communication module
CM-PDP = Profibus DP communication module
CM-232 = RS232 serial communication module
CM-485 = RS485 serial communication module

EXPANSION MODULES
EM-SYS = SYSTEMBUS expansion module
EM-IO-xy = I/O expansion modules
EM-ENC-xy = ENCODER expansion modules
EM-RES-xy = RESOLVER expansion modules

INSTALLATION COMPONENTS
MPSV = thru-type mechanical installation kit without fan
MDIN = DIN rail mechanical installation kit
MNVIB = antivibration mechanical installation kit

CONSTRUCTION STYLE
A = style with standard cooling
C = style with cold-plate cooling

EMI FILTER
F = internal filter
- = no internal filter

SIZE

Size 1	ACT401-05 = 0.55 kW
	ACT401-07 = 0.75 kW
	ACT401-09 = 1.1 kW
	ACT401-11 = 1.5 kW
Size 2	ACT401-12 = 1.85 kW
	ACT401-13 = 2.2 kW
	ACT401-15 = 3.0 kW
	ACT401-18 = 4.0 kW
Size 3	ACT401-19 = 5.5 kW
	ACT401-21 = 7.5 kW
	ACT401-22 = 9.2 kW
Size 4	ACT401-23 = 11 kW
	ACT401-25 = 15 kW
Size 5	ACT401-27 = 18.5 kW
	ACT401-29 = 22 kW
	ACT401-31 = 30 kW
Size 6	ACT401-33 = 37 kW
	ACT401-35 = 45 kW
	ACT401-37 = 55 kW
	ACT401-39 = 65 kW

INVERTER SERIES
ACT401 = inverter ACTIVE 3ph x 360-480VAC +/- 10%

INDUSTRY PROCESS AND AUTOMATION SOLUTIONS

6 Active 401/201

ACT401-05 ... ACT401-39 series

Technical features

Power range up to 65 kW / 360-480 V three-phase

Designation

ACT401

Size

From 0.55 to 1.5 kW / from 1.85 to 4.0 kW / from 5.5 to 9.2 kW / from 11 to 15 kW / from 18.5 to 30 kW / from 37 to 65 kW

Basic equipment

- 360 - 480 V three-phase (± 10%) / 50 - 60 Hz (± 10%)
- TN and IT mains capable
- overload capacity: 150% for 60s, 200% for 1s
- switching frequency 2 to 16 kHz
- integral EMI filter to EN 61800-3 up to 7.5 kW
- speed sensor connection
- motor temperature monitoring
- integral braking transistor
- DC link connection
- plug-in power terminals up to 4 kW
- plug-in programmable control terminals
- 6 digital inputs, 1 multifunction input
- 1 digital output, 1 multifunction output
- relay output
- freely selectable motor control system:
  sensorless control, sensorless field-oriented control,
  field-oriented control with speed sensor
- additional control and application systems available on request
- Standard installation kit

Versions

Cold-plate finish on request

Expansions

• KP500	Removable control unit with parameter copy function
• KP232	Removable RS232 interface adapter
• CM-232	RS232 interface
• CM-485	RS485 interface
• CM-CAN	CANopen interface
• CM-PDP	Profibus-DP interface
• EM-I/O-01	I/O expansion (3xDI, 1xAI ± 10 V, 1xAO ± 10 V, 2xRelay, SYSTEMBUS)
• EM-I/O-02	I/O expansion (3xDI, 1xAI ± 10 V, 1xAO ± 10 V, 1xPTC, 1xRelay, SYSTEMBUS)
• EM-I/O-03	I/O expansion (2xDI, 1xAI ± 10 V, 1xAO ± 10 V, 1xAO 0-20 mA, 1xRelay, 1xPTC, SYSTEMBUS)
• EM-I/O-04	I/O expansion (1xDI/DO, 2xDI (PNP/NPN), 1xPTC/KTY, SYSTEMBUS)
• EM-ENC-01	Expansion for Line Driver Incremental Speed Sensor at 5 V (input signals A, $\overline{A}$, B, $\overline{B}$, speed sensor signals repetition FFA, $\overline{FFA}$, FFB, $\overline{FFB}$, 1xAI ±10 V, SYSTEMBUS)
• EM-ENC-02	Expansion for Line Driver Incremental Speed Sensor at 5 V (input signals A, $\overline{A}$, B, $\overline{B}$, 1xDI/DO, 1xAI (±10 V/± 20 mA), 1xAO 0/4-20 mA, PTC, SYSTEMBUS)

Power range up to 65 kW / 360-480 V three-phase

Technical features

Expansions

• EM-ENC-03	Expansion for Line Driver Incremental Speed Sensor (input signals A, $\overline{A}$, B, $\overline{B}$, SYSTEMBUS). Speed sensor external power supply
• EM–ENC-04	Expansion for Line Driver Incremental Speed Sensor at 5 V or 24 V with zero signal (input signals A, $\overline{A}$, B, $\overline{B}$, Z, $\overline{Z}$) 1xAI ± 10 V, 1xAO ± 10 V, 1xRelay
• EM–ENC-05	Expansion for Line Driver Incremental Speed Sensor at 5 V or 24 V with zero signal (input signals A, $\overline{A}$, B, $\overline{B}$, Z, $\overline{Z}$) 1xAI ± 10 V, 1xAO ± 10 V, SYSTEMBUS
• EM–RES-01	Expansion for Resolver (input signals SIN, COS, REF resolver power supply, repetition frequency output FFA, $\overline{FFA}$, FFB, $\overline{FFB}$, 1xAI (± 10 V/± 20 mA)), SYSTEMBUS
• EM–RES-02	Expansion for Resolver (input signals SIN, COS, REF resolver power supply, repetition frequency output FFA, $\overline{FFA}$, FFB, $\overline{FFB}$, frequency reference signal, 1xAI (± 10 V/± 20 mA))
• EM–SYS	SYSTEMBUS expansion

Development tools

• VPlus	Software for inverter programming and monitoring on PC with Windows operating system. Oscilloscope Function with 4 programmable traces

Accessories

• Installation kit	Various mechanical installation kits (MPSV, MPVIB, MDIN) for different types of enclosure mounting solutions
• Line choke	Input filter for reducing current harmonics
• EMI filter	Input filter for EMC regulation compliance
• dV/dt filter	Output filter for dV/dt attenuation
• Sine wave filter	Output filter for long inverter/motor cable
• Mains unit	PFC and network recovery of regeneration energy
• Braking Resistor	External resistor for dynamic braking

(from 4.0 to 15 kW)

Technical data

	INVERTER			Size 2	Size 3			Size 4	
				ACT401-18	ACT401-19	ACT401-21	ACT401-22	ACT401-23	ACT401-25
				F	- or F			-	
				A2 or C2	A or C			A or C	
Output, motor side	Recommended rated motor power	P_n	kW	4.0	5.5	7.5	9.2	11.0	15.0
	Rated motor current output	I_n	A	9.0	14.0	18.0	22.0	25.0	32.0
	Rated motor voltage output	U_n	V	3 x (from 0 to mains voltage)					
	Overload current for 60 s	I_{pk}	A	13.5	21.0	26.3	30.3	37.5	44.5
	Overload current for 1 s	I_{pk}	A	18.0	28.0	33.0	33.0	50.0	64.0
	Switching frequency	f_c	kHz	From 2 to 16					
	Rated motor frequency	f_n	Hz	From 0 to 1000					
Input, mains side	Nominal mains voltage	U	V	320 ... 528					
	Nominal mains frequency	f	Hz	45 ... 66					
	Nominal mains current 3 ph/PE	I	A	7.8	14.2	15.8	20.0	26.0	28.2
	Mains fuses 3ph/PE	I	A	10.0	16.0	25.0		35.0	
General	Short circuit / ground fault protection	-	-	Yes, unlimited					
	Mounting position	-	-	Vertical					
	Protection class	-	-	IP 20 (EN60529)(0)					
	Dimensions Std. A	HxWxD	mm	250 x 60 x 175	250 x 100 x 200			250 x 125 x 200	
	Cold Plate Opt. C	HxWxD	mm	250 x 85 x 140	250 x 125 x 144			250 x 150 x 144	
	Weight (approx.)	m	kg	1.6	3.0			3.7	
Environment	Cooling temperature	Tn	°C	From 0 to 40 (3K3 DIN IEC 721-3-3)					
	Relative air humidity	-	%	From 15 to 85, non-condensing					
	Derating	P	-	2.5%/K above 40 °C; Tmax = 55 °C; 5%/1000 m above 1000 m installation altitude; hmax = 4000 m					
Options & accessories	Line choke	-	-	external (depending on mains supply)					
	EMI filter	-	-	internal (EN 61800-3); external				external	
	Brake unit	-	-	internal brake transistor					
	Digital control unit	-	-	yes					

Note: (0) = for protection classes higher than IP20 consult your local Bonfiglioli Drives Service Center

A wide range of mechanical accessories is available for ACT Series frequency converters, to make installation extremely easy in all sorts of application.
In standard mountings the unit can be installed directly on the mounting plate or through-the-wall. A vibration-proof mounting variant and a standard DIN bar mounting variant are also available.
The range of mounting variants also includes an optional support with shielded brackets, so that the right solution for all possible needs can always be found.
Installations are practically identical for all sizes, so the examples shown below can be taken as representative solutions and ideal for all installers seeking a mechanically simple, compact installation solution.

Types of assembly kits

The drive is supplied complete with a standard installation kit for fixing to an electrical cabinet mounting panel.
3 different optional installation kits are available on request.

MPSV
Thru-type assembly for higher protection classes or enhanced cooling characteristics

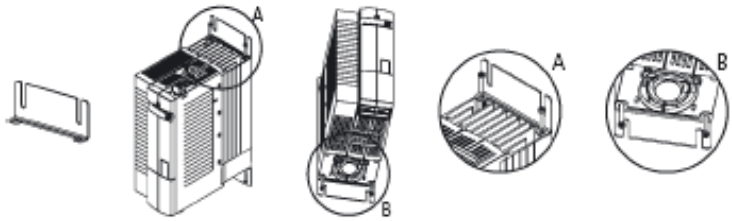
MNVIB
Anti-vibration mounting for installations on machines that generate significant vibrational stress

MDIN
DIN rail assembly for fast and modular installation / coupling

INDUSTRY PROCESS AND AUTOMATION SOLUTIONS

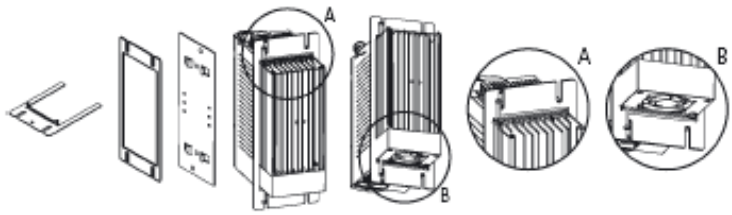
48 **Active 401/201** Assembly kits

Size 3 Standard assembly



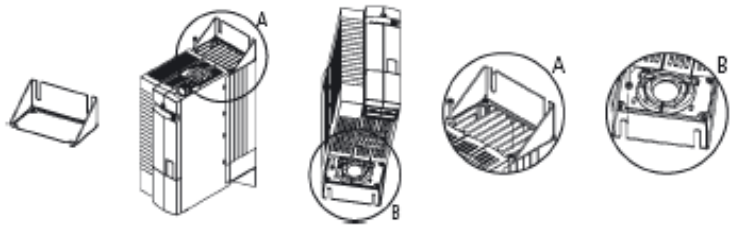
Inverter BONFIGLIOLI	Assembly kit	Description
ACT 201-18 ... ACT 201-19 ACT 401-19 ... ACT 401-22	MPSV3	Thru-type assembly
	MNVIB3	Antivibration assembly

MPSV3

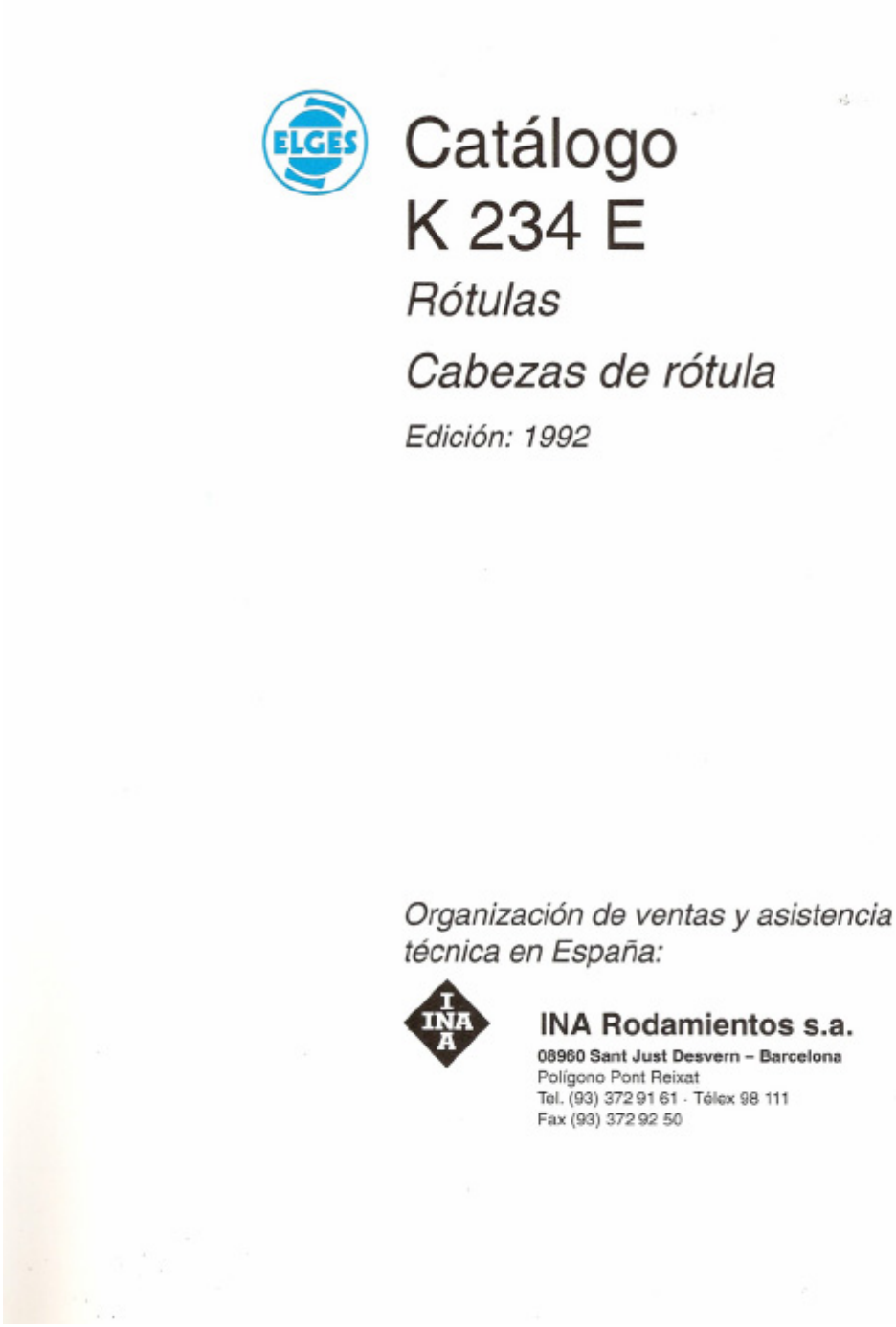


MNVIB3

Accessories available subject to the Drive Service Centre's analysis and approval



H.5. Caps de ròtula ELGES DIN648 GAKKR14



ELGES

Catálogo
K 234 E
Rótulas
Cabezas de rótula
Edición: 1992

Organización de ventas y asistencia técnica en España:

INA

INA Rodamientos s.a.
08960 Sant Just Desvern – Barcelona
Polígono Pont Reixat
Tel. (93) 372 91 61 · Télex 98 111
Fax (93) 372 92 50

1. Programa de fabricación

1.4 Cabezas de rótula libres de mantenimiento

1.4.1 DIN 648, serie de medidas E

Forma constructiva	Serie Gama nominal	Superficies de fricción	Características
	GIR..UK 6-30 GIR..UK-2RS 35-80	Cromo duro/ Compuesto PTFE Cromo duro/ Tejido PTFE	Cabeza de rótula DIN 648, serie de medidas E, forma B – Rosca interior – Rótula libre de mantenimiento. Cabeza forjada en acero bonificado. A partir de diámetro 35 mm, también con obturación.
	GAR..UK 6-30 GAR..UK-2RS 35-80	Cromo duro/ Compuesto PTFE Cromo duro/ Tejido PTFE	Cabeza de rótula DIN 648, serie de medidas E, forma A – Rosca exterior – Rótula libre de mantenimiento. Cabeza forjada en acero bonificado. A partir de diámetro 35 mm, también con obturación.

1.4.2 DIN 648, serie de medidas K

	GIKFR..PW 5-30 GIPFR..PW 5-30	Acero/Lámina PTFE Acero/Lámina PTFE	Cabeza de rótula DIN 648, serie de medidas K – Rosca interior. Rótula libre de mantenimiento. Cabeza de rótula torneada hasta el diámetro 14 mm; a partir del diámetro 16 mm, forjada de acero bonificado. La serie GIPFR . . PW dispone de rosca fina para cilindros neumáticos normalizados según DIN 24 335.
	GAKFR..PW 5-30	Acero/Lámina PTFE	Cabeza de rótula DIN 648, serie de medidas K – Rosca exterior – Rótula libre de mantenimiento. Cabeza de rótula torneada hasta diámetro 14 mm; a partir del diámetro 16 mm, forjada en acero bonificado.
	GIKKR.. 5-14	Acero/ GFK + PTFE	Cabeza de rótula DIN 648, serie de medidas K – Rosca interior – Rótula libre de mantenimiento. Anillo interior de acero para rodamientos templado, rectificado y pulido. Superficies de deslizamiento de poliamida reforzada con fibra de vidrio e impregnada de PTFE.
	GAKKR.. 5-14	Acero/ GFK + PTFE	Cabeza de rótula DIN 648, serie de medidas K – Rosca exterior – Rótula libre de mantenimiento. Anillo interior de acero para rodamientos templado, rectificado y pulido. Superficies de deslizamiento de poliamida reforzada con fibra de vidrio e impregnada de PTFE.

1. Programa de fabricación

Lubricación	Apropiada para Carga Sentido único	Alterna	Aplicación	Tabla de medidas Página:
innecesaria	x	(x)	Cabezas de rótula para condiciones de funcionamiento suaves (carga de sentido único, movimiento lento con ángulos de oscilación pequeños a medios). Transmisión de los esfuerzos sin perjuicio del material, gracias a la forma optimizada de sus medidas que permiten una construcción compacta de los elementos del entorno (gran longitud de rosca para regulación).	128
inadmisible	x	(x)		
innecesaria	x	(x)	Campos de aplicación iguales a los de la serie GIR . . UK o GIR . . UK-2RS pero con vástago roscado exteriormente.	130
inadmisible	x	(x)		
innecesaria	x	(x)	Alternativa de cabeza de rótula libre de mantenimiento, para la serie GIKFR . . PB. Campos de aplicación para condiciones suaves de funcionamiento (carga de sentido único y moderadamente alterna, movimiento lento con ángulos de oscilación pequeños hasta medios). Ejecución de la cabeza de rótula igual a la de la serie GIKFR . . PB.	132
innecesaria	x	(x)	Campos de aplicación y ejecución iguales que los de la serie GIKFR . . PW pero con vástago roscado exteriormente.	134
innecesaria	x	(x)	Cabeza de rótula de ejecución económica para aplicación universal. Poco apropiada para frecuencias elevadas de oscilación o de giro, así como para solicitación a choque.	136
innecesaria	x	(x)	Campo de aplicación como para la serie GIKKR . ., pero con rosca exterior.	138

x = Apropiada
(x) = Apropiada con reservas.

2.7 Dimensionado y duración de vida

Generalidades

Por dimensionado se entiende la elección de un tamaño y una ejecución determinada de rótula que, acompañada de un proyecto correcto de las piezas del entorno, esté en condiciones de cumplimentar las exigencias en cuanto a:

Transmisión de esfuerzos
Movimientos
Duración de vida
Mantenimiento

Estos cuatro criterios son los factores principales para la detallada investigación de las rótulas. Por ello, estos datos deben ser determinados antes de efectuar la elección de cada rótula.

2.7.1 Carga equivalente P

Carga

La determinación del tamaño de la rótula precisa conocer la magnitud de la carga. La dirección de ésta y el modo de actuar, determinan el tipo de rótula y las superficies de fricción.

Carga F centrada y uniforme

Los valores de carga indicados pueden ser introducidos directamente en el cálculo teórico de la duración de vida, cuando actúan de forma puramente radial en las rótulas radiales y de contacto angular y puramente axial y centrada en las rótulas axiales y su magnitud y dirección no varía durante el funcionamiento.
En este caso, el valor de la carga F es el valor de cálculo P para la determinación de la duración de vida.

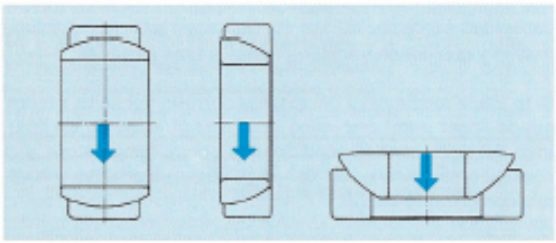


Fig. 31

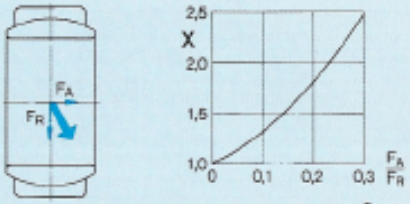
Carga combinada radial y axial

Si las rótulas son solicitadas simultáneamente con carga radial y axial, en la ecuación de la duración de vida debe introducirse un valor P que produzca la misma acción sobre la duración de vida que las fuerzas que actúan de forma combinada.
En este caso, el valor de P se calcula mediante la ecuación:

$P = X \cdot F_R$ para rótulas radiales y de contacto angular
$P = Y \cdot F_A$ para rótulas axiales

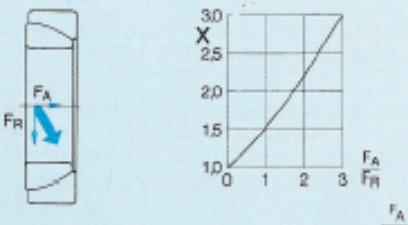
P	Carga dinámica equivalente kN
F_R	Carga radial kN
F_A	Carga axial kN
X	Factor de carga axial en las rótulas radiales y de contacto angular
Y	Factor de carga radial en las rótulas axiales

Rótulas radiales



$X = 0{,}978 \cdot 21{,}546^{\frac{F_A}{F_R}}$

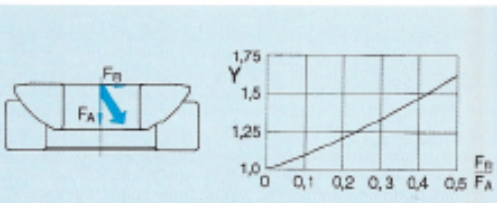
Rótulas de contacto angular



Para $\frac{F_A}{F_R} = 0$ à $2{,}35$: $X = 1{,}009 \cdot 1{,}4714^{\frac{F_A}{F_R}}$

Para $\frac{F_A}{F_R} = 2{,}35$ à $3{,}0$: $X = 0{,}7678 \cdot \frac{F_A}{F_R} + 0{,}6966$

Rótulas axiales



$Y = 0{,}996 \cdot 2{,}6254^{\frac{F_R}{F_A}}$

2.7 Dimensionado y duración de vida

Carga variable durante el movimiento de la rótula

Si la rótula, durante un movimiento de oscilación es cargada por una fuerza cuya magnitud varía linealmente, debe determinarse también un valor medio de carga P, que tenga la misma acción sobre la rótula que la carga variable que actúa efectivamente sobre ésta.

$$P = \sqrt{\frac{F^2_{min} + F^2_{max}}{2}}$$

P	Carga equivalente sobre la rótula kN
F_{max}	Carga máxima sobre la rótula kN
F_{min}	Carga mínima sobre la rótula kN

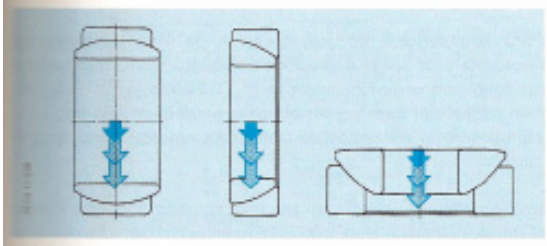


Fig. 32

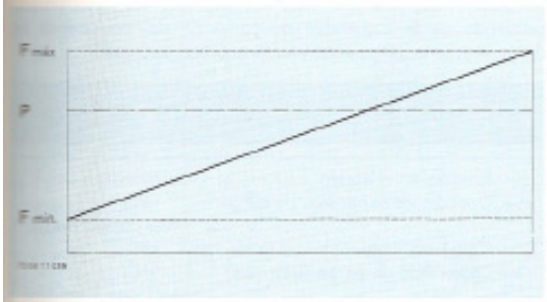


Diagrama 3

Duración de vida con carga y movimiento variables

Si una rótula durante el tiempo de funcionamiento está sometida a diferentes cargas y movimientos, es posible efectuar una previsión aproximada de la duración de vida, si se conocen los datos de las cargas, del movimiento, y sus porcentajes de tiempo de actuación (duración de trabajo).

El cálculo se efectúa en primer lugar para cada uno de los parciales. Los resultados así obtenidos L_{h1} hasta L_{hn}, se reúnen en la siguiente fórmula, teniendo en cuenta sus porcentajes de tiempo de actuación:

$$L_h = \frac{1}{\frac{t_1}{\Sigma t \cdot L_{h1}} + \frac{t_2}{\Sigma t \cdot L_{h2}} + \frac{t_3}{\Sigma t \cdot L_{h3}} + \dots \frac{t_n}{\Sigma t \cdot L_{hn}}}$$

L_h	Duración de vida teórica total, en horas, teniendo en cuenta las condiciones variables.
$t_1; t_2$	Porcentajes de tiempo de actuación, de cada uno de los parciales fijados en cada caso, en horas o en porcentajes.
Σt	Tiempo total de funcionamiento = $t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$, en horas o porcentajes. Emplear la misma magnitud que para t_1, t_2.
$L_{h1}; L_{h2}$	Duración de vida de cada uno de los parciales, en horas.

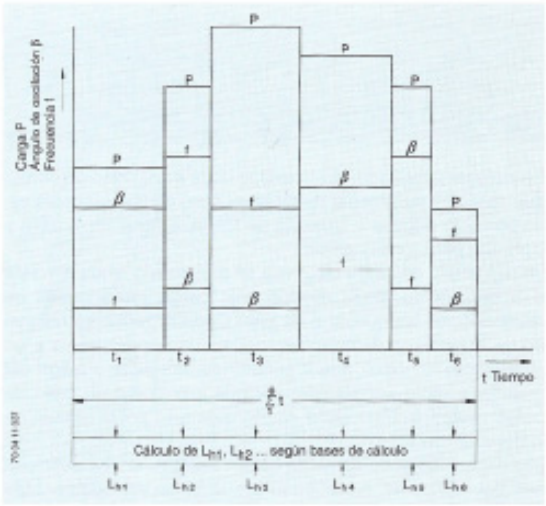


Diagrama 4

2.7 Dimensionado y duración de vida

2.7.2 Capacidades de carga

La capacidad de carga dinámica es un valor característico para el cálculo teórico de la duración de vida de rótulas y cabezas de rótula. En combinación con los demás factores que determinan la duración de vida, tiene una influencia esencial sobre la misma. En función de las superficies de fricción, la capacidad de carga C se basa en diferentes presiones específicas sobre la rótula.

Determinación de las capacidades de carga dinámica

Dado que las presiones superficiales efectivas que se presentan en una rótula dependen de la carga, las superficies de fricción y las condiciones de osculación no es posible determinar exactamente las presiones. El resultado sería modificado adicionalmente por diferentes situaciones de montaje. Por este motivo, las capacidades de carga de las rótulas se determinan partiendo de un coeficiente de carga específico del material y de la proyección de la superficie del apoyo.

C = Proyección de la superficie portante del apoyo · Coeficiente específico de carga K

Superficies de fricción	Coeficiente específico de carga K
Acero/acero	100 N/mm²
Acero/Bronce	50 N/mm²
Acero/Latón	50 N/mm²
Acero/Compuesto PTFE	100 N/mm²
Acero/Lámina PTFE	100 N/mm²
Acero/Tejido PTFE	150 N/mm²
Acero/GFK + PTFE	50 N/mm²
Acero/GFK + PTFE (GE..DF)	80 N/mm²

Es indispensable para la utilización de la capacidad de carga, que ésta sea puramente radial en el caso de rótulas radiales, de contacto angular y cabezas de rótula, y puramente axial y centrada para rótulas axiales.
La capacidad de carga dinámica se presenta cuando la rótula o la cabeza de rótula efectúa bajo carga movimientos de oscilación, de basculado o de giro. Cada movimiento relativo de las superficies deslizantes, incluso los superpuestos a un movimiento principal, actúa generando desgaste o fatiga del material y debe ser siempre considerado como un caso de carga dinámica. Esto debe ser considerado en el cálculo de la duración de vida.
Las capacidades de carga se basan siempre en las definiciones del fabricante. No pueden por lo tanto ser comparadas sin más, con las de otros fabricantes.

Capacidad de carga estática C_0
Indica la carga máxima admisible en reposo, para rótulas y cabezas de rótula.
Se aplica además, cuando rótulas cargadas dinámicamente están sometidas adicionalmente a una carga por choques. Indica la carga que una rótula o cabeza de rótula puede soportar, a la temperatura ambiente, sin que por rotura o destrucción de las superficies deslizantes se anule su capacidad funcional. Se supone en este caso que las piezas que soportan la rótula impiden la deformación de la misma. Cuando se utiliza la capacidad de carga estática C_0, se sabe por experiencia que deben emplearse materiales de alta resistencia para el eje y el alojamiento.

En el caso de cabezas de rótula

La capacidad de carga estática C_0 se refiere a la cabeza de rótula, con carga en reposo. A la temperatura ambiente, la capacidad de carga C_0 ofrece una seguridad mínima de 1.2 con relación al límite del material de la cabeza de rótula.

En el caso de cargas alternativas o de cargas límite intermitentes, las capacidades de carga de las cabezas de rótula deben ser reducidas: ver el cálculo de cabezas de rótula.

2.7.3 Presión sobre el apoyo

Para la obtención de una duración de vida suficiente, es necesaria una carga específica sobre el apoyo, adecuada a las condiciones de funcionamiento. Dicha carga indica la presión superficial que hay en el apoyo y es el criterio que sirve para decidir la utilización de una rótula en cada caso de aplicación.

Una amplia experiencia en las aplicaciones, da actualmente al servicio técnico de ELGES la posibilidad de enjuiciar casi todas las aplicaciones de rótulas que se presentan.

La presión superficial de una rótula puede ser determinada partiendo de la capacidad de carga C, del coeficiente de carga K y de la carga equivalente sobre el apoyo P.

$$p = k \cdot \frac{P}{C}$$

p =	Presión en el apoyo	N/mm²
K =	Coeficiente específico de carga	N/mm² (ver capac. carga)
P =	Carga equivalente sobre la rótula	kN
C =	Capacidad de carga dinámica	kN (ver tabla de medidas)

En casos de condiciones especiales de carga, como elevado porcentaje de carga axial, debido a deformaciones elásticas en el apoyo y en su alojamiento, puede llegarse a concentraciones locales de presión. En estos casos rogamos dirigirse a nuestro servicio técnico.

Junto con la posibilidad de enjuiciar el comportamiento funcional y el desgaste, el valor de la presión superficial p en combinación con la velocidad media, sirve para calcular las pérdidas de energía por rozamiento de una rótula.

El producto de la presión superficial por la velocidad de deslizamiento, p · v (N/mm² · mm/seg), tiene una influencia básica sobre la validez del cálculo de duración de vida.

2.10 Rótulas libres de mantenimiento

2.11 Calculo de la duración de vida de rótulas libres de mantenimiento

2.11.1 Material deslizante: Tejido PTFE

Series de rótulas	Series de cabezas de rótula:
GE . . UK-2RS	GIR . . UK-2RS
GE . . FW-2RS	GIL . . UK-2RS
GE . . SW	GAR . . UK-2RS
GE . . AW	GAL . . UK-2RS

Campo de utilización:

Rótulas radiales	**17 mm ≤ d ≤ 300 mm**
Rótulas de contacto angular	**25 mm ≤ d ≤ 300 mm**
Rótulas axiales	**10 mm ≤ d ≤ 360 mm**
para temperaturas	**- 60°C ≤ t ≤ 150 °C**
para presiones superficiales	**5 N/mm² ≤ p ≤ 150 N/mm²**
para velocidades de deslizamiento	**1 mm/s ≤ v ≤ 319 mm/s**

Rótulas en seco, sin engrase de ningún tipo; rótulas de contacto angular ajustadas sin juego en dirección axial.

Criterio de avería:
Aumento del juego radial de la rótula
a) con carga en un solo sentido, alrededor de 0,5 mm
b) con carga alternada alrededor de 1 mm

Fórmulas para el cálculo de la duración de vida:
con carga constante

❶ $p = K \cdot \frac{P}{C}$ N/mm²

❷ $v = 2{,}91 \cdot 10^{-4} \cdot f_4 \cdot d_K \cdot \beta \cdot f$ mm/s

❸ $x = \frac{v \cdot 1{,}0193^{p}}{171{,}69}$ ver también Diagrama 8

❹ $f_v = \frac{2{,}1048}{2{,}255^{x}}$

❺ $f_6 = 0{,}7579 \cdot 1{,}0093^{p}$

❻ $L = \frac{f_2 \cdot f_v}{f_6} \cdot \frac{s \cdot f}{v} \cdot 14$ Osc.

❼ $L_h = \frac{L}{f \cdot 60}$ Horas

con carga variable

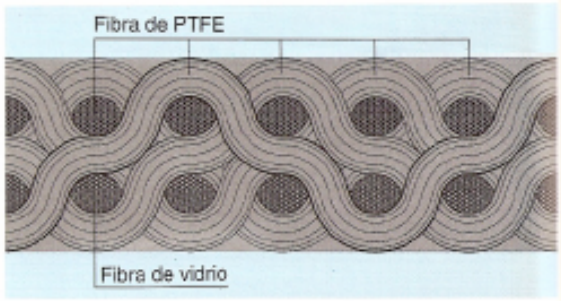
❽ $f_{Hz} = 0{,}433 \cdot \frac{P_{Hz} \cdot p^{1{,}11}}{232{,}53}$ ver también Diagrama 9

❾ $L_W = L \cdot f_{Hz} \cdot f_5$ Osc.

❿ $L_{hW} = \frac{L_W}{f \cdot 60}$ h

Factores K, f_2, f_4, f_5, s - Ver diagramas 10, 10a y 10b en las páginas 54 y 55.

Vista en sección



Superficie de deslizamiento según curva C (Diagrama 10, pág. 55)

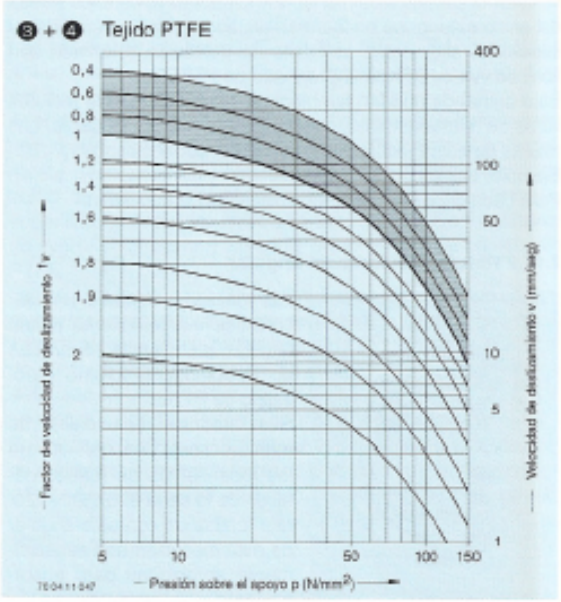


Diagrama 8 – Valores f_v para tejido PTFE

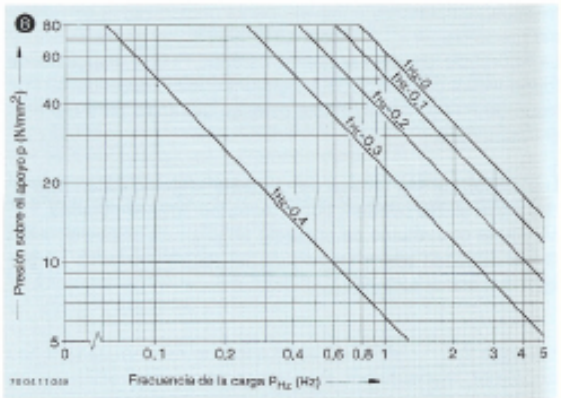


Diagrama 9 – Valores f_{Hz} para tejido PTFE

2.11 Calculo de la duración de vida de rótulas libres de mantenimiento

2.11.2 Material deslizante: Compuesto PTFE

Series de rótulas:
GE . . UK
GE . . FW

Series de cabezas de rótula:
GIR . . UK; GIL . . UK
GAR . . UK; GAL . . UK

Campo de utilización:

Rótulas radiales	6 mm ≤ **d** ≤ 30 mm
para temperaturas	-60 °C ≤ **t** ≤ 200 °C
para presiones superficiales	5 N/mm² ≤ **p** ≤ 100 N/mm²
para velocidades de deslizamiento	1 mm/s ≤ **v** ≤ 398 mm/s

Rótulas en seco, sin lubricación. Una lubricación con grasa de litio, libre de materias sólidas, puede influir positivamente sobre la duración de vida.

Criterio de avería:
Aumento del juego radial interno
a) con carga en un solo sentido, alrededor de 0,15 mm
b) con carga alternada, alrededor de 0,30 mm

Fórmulas para el cálculo de la duración de vida
con carga constante:

❶ $p = K \cdot \frac{P}{C}$ N/mm²

❷ $v = 2{,}91 \cdot 10^{-4} \cdot d_K \cdot \beta \cdot f$ mm/s

❸ $x = \frac{v \cdot 1{,}0399^p}{236{,}89}$ ver también Diagrama 11

❹ $f_v = \frac{2{,}1048}{2{,}255^x}$

❺ $L = f_2 \cdot f_v \cdot \frac{s \cdot f}{v} \cdot 14$ Osc.

❻ $L_h = \frac{L}{f \cdot 60}$ Horas

con carga variable

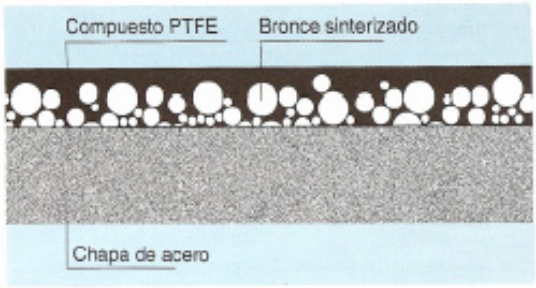
❼ $f_{Hz} = 0{,}433 - \frac{P_{Hz} \cdot p^{1,25}}{447{,}15}$

❽ $L_W = L \cdot f_{Hz} \cdot f_5$ Osc.

❾ $L_{hW} = \frac{L_W}{f \cdot 60}$ Horas

Para el proceso de cálculo, símbolos, tablas y diagramas, ver páginas 54 y 55.
Factores K; f_2; f_4; f_5; s - Ver diagramas 10, 10a y 10b en las páginas 54 y 55.

Vista en sección



Superficie de deslizamiento según curva A (Diagrama 10, pág. 55)

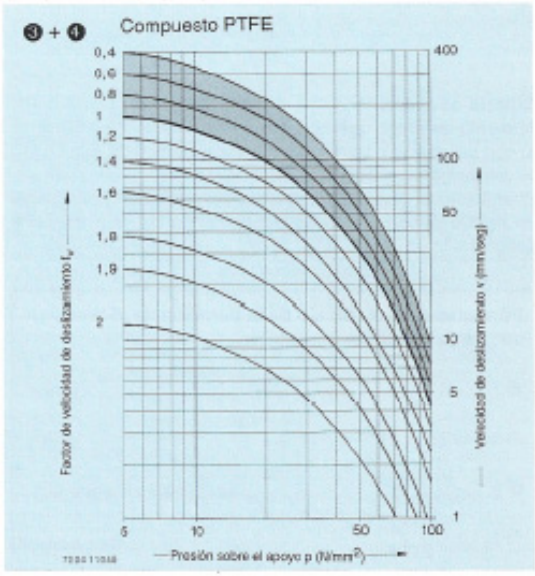


Diagrama 11 – Valores f_v para material compuesto PTFE

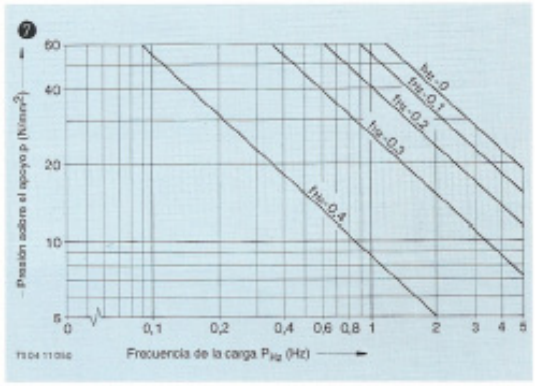


Diagrama 12 – Valores f_{Hz} para material compuesto PTFE

ELGES 51

2.11 Calculo de la duración de vida de rótulas libres de mantenimiento

2.11.3. Material deslizante: Lámina de PTFE

Series de rótulas:
GE . . PW

Series de cabezas de rótula:
GIKFR . . PW; GIPFR . . PW
GIKFL . . PW; GAKFR . . PW
GAKFL . . PW

Campo de utilización:

Rótulas radiales	**5 mm ≤ d ≤ 30 mm**
para temperaturas	**-60 °C ≤ t ≤ 200 °C**
para presiones superficiales	**2 N/mm² ≤ p ≤ 100 N/mm²**
para velocidades de deslizamiento	**1 mm/s ≤ v ≤ 211 mm/s**

Apoyo en seco, sin lubricación

Criterio de avería:
Aumento del juego radial interno
a) con carga en un solo sentido, alrededor de 0,25 mm
b) con carga alternada, alrededor de 0,5 mm
En el caso de carga alternada, con p > 10 N/mm², el material deslizante puede asentarse alrededor de 0,1 mm sin sufrir desgaste.

Fórmulas para el cálculo de la duración de vida:
con carga constante

❶ $p = K \cdot \frac{P}{C}$ N/mm²

❷ $v = 2{,}91 \cdot 10^{-4} \cdot d_K \cdot \beta \cdot f$ mm/s

❸ $x = \frac{v \cdot 1{,}0305^{\circ}}{109{,}771}$ ver también Diagrama 13

❹ $f_v = \frac{2{,}1048}{2{,}255^{x}}$

❺ $L = f_2 \cdot f_v \cdot \frac{s \cdot f}{v} \cdot 14$ Osc.

❻ $L_h = \frac{L}{f \cdot 60}$ Horas

con carga variable

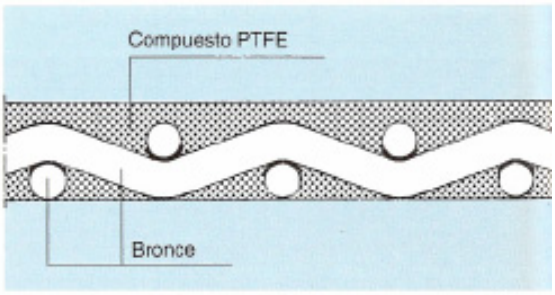
❼ $f_{Hz} = 0{,}433 \frac{P_{Hz} \cdot p^{1,8}}{790{,}5}$

❽ $L_W = L \cdot f_{Hz} \cdot f_5$ Osc.

❾ $L_{hW} = \frac{L_W}{f \cdot 60}$ Horas

Para el proceso de cálculo, símbolos, tablas y diagramas, ver páginas 54 y 55.
Factores K; f_2; f_4; f_5; s – Ver diagramas 10, 10a y 10b en las páginas 54 y 55.

Vista en sección



Superficie de deslizamiento según curva B (Diagrama 10, pág. 55)

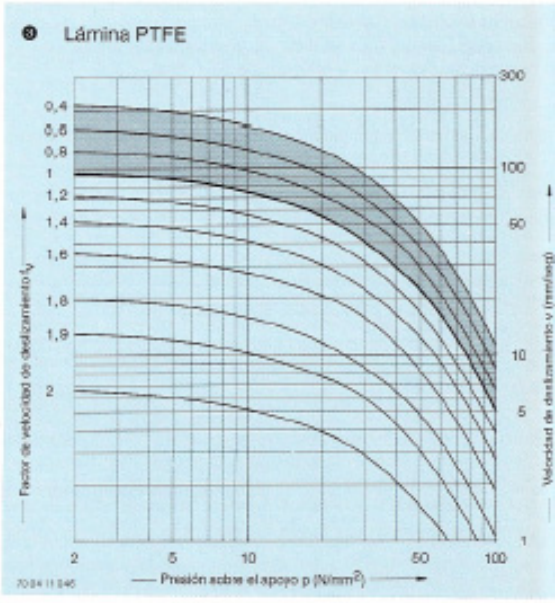


Diagrama 13 – Valores de f_v para lámina PTFE

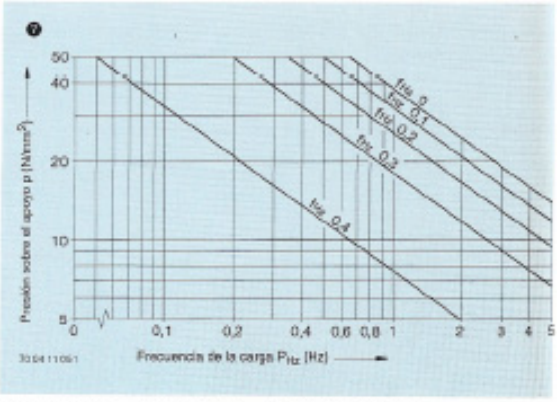


Diagrama 14 – Valores de f_{Hz} para lámina PTFE

2.11 Calculo de la duración de vida de rótulas libres de mantenimiento

2.11.4. Material deslizante: GFK + PTFE

Series de cabezas de rótula
GIKKR..
GIKKL..
GAKKR..
GAKKL..

Campo de utilización

Cabezas de rótula	**5 mm ≤ d ≤ 14 mm**
para temperaturas	**-30 °C ≤ t ≤ +90 °C**
para presiones superficiales	**1 N/mm² ≤ p ≤ 50 N/mm²**
para velocidades de deslizamiento	**1 mm/s ≤ v ≤ 50 mm/s**

Apoyo en seco, sin lubricación
(La lubricación con grasa de litio multiuso, libre de materias sólidas, puede influir positivamente la duración de vida)

Criterios de avería
Aumento del juego radial interno
a) Con carga constante, alrededor de 0,25 mm
b) Con carga variable, alrededor de 0,50 mm

Fórmulas para el cálculo de la duración de vida:

❶ $p = K \cdot \frac{P}{C}$ N/mm²

❷ $v = 2{,}91 \cdot 10^{-4} \cdot d_K \cdot \beta \cdot f$ mm/s

Controlar si p; v y p · v se encuentran dentro de los límites admisibles. Ver diagrama 15.
En el caso de carga variable, controlar si la frecuencia de la carga se encuentra en el campo admisible. Ver diagrama 16.

$P_{Hz} = \frac{f}{60}$ 1/s

❸ $L = 8{,}4 \cdot 10^8 \cdot \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot f_3}{d_K \cdot \beta} \cdot \frac{C}{P}$ Osc.

$L_h = \frac{L}{f \cdot 60}$ Horas

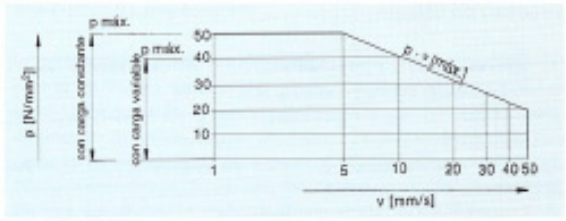


Diagrama 15

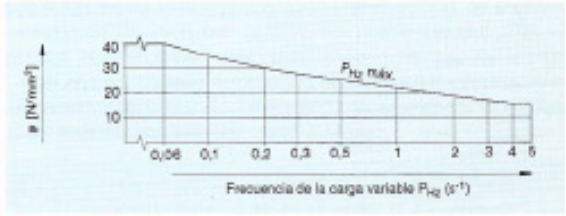


Diagrama 16

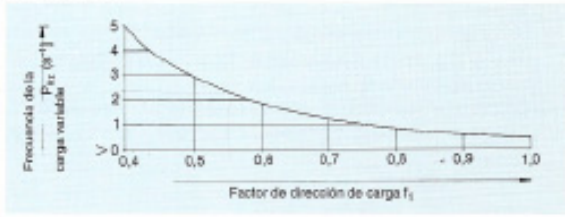


Diagrama 17

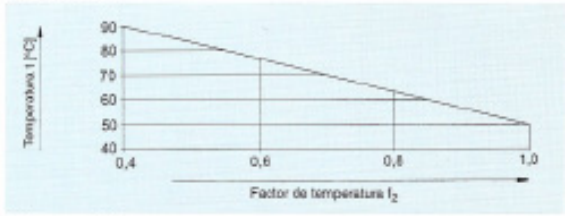


Diagrama 18

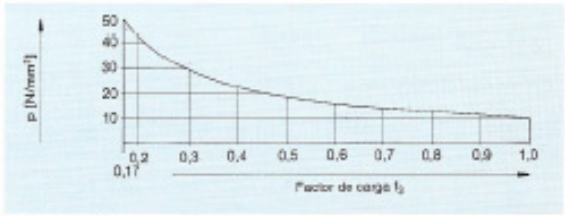


Diagrama 19

Factores:

Factor capacidad carga K N/mm²	Factor de dirección de carga f_1 Ver también diagrama 17			Factor de temperatura f_2 Ver también diagrama 18		Factor de carga f_3 Ver también diagrama 19	
	Carga constante	Carga variable					
	$P_{Hz} = 0$	$P_{Hz} \leq 0{,}5$	$P_{Hz} > 0{,}5\text{-}5$	t ≤ 50°C	t > 50° - 90° C	p = 1-10 N/mm²	p > 10-50 N/mm²
50	4	1	$P_{Hz}^{-0{,}226} \cdot 0{,}759$	1	1,75-0,015 · t	1	$p^{-1{,}112} \cdot 12{,}94$

2.11 Calculo de la duración de vida de rótulas libres de mantenimiento

Proceso de cálculo

1) Cálculo de la carga dinámica equivalente sobre el apoyo P, partiendo de F_A y F_R, pág. 34.
2) Cálculo de la carga especifica p del apoyo, según fórmula ❶.
3) Cálculo de la velocidad media de deslizamiento v, según fórmula ❷.
4) Determinación del factor velocidad f_v, mediante los diagramas 8, 11 ó 13, o con la fórmula ❸. En caso de valores $f_v < 1$, es necesaria una buena evacuación del calor. $f_{v\,min} = 0{,}4$.
5) En el caso del material deslizante "Tejido PTFE", cálculo del factor del ángulo de oscilación f_6, según fórmula ❹.
6) Sacar del Diagrama 10 el valor s del camino deslizado en función de p, o mediante la correspondiente función de la Tabla 10b.
7) Calcular L (osc.) para carga constante según fórmula ❺. Para ello, sacar los factores de la Tabla 10a.
8) En caso necesario transformar L (osc.) en L_h (horas) según fórmula ❻.
9) Si se presenta una carga variable, sacar F_{Hz} en función de p y P_{Hz} de los diagramas 9, 12 ó 14, o calcularlo mediante la fórmula ❼. $f_{Hz\,min} = 0{,}1$.
10) Calcular la duración de vida L_W (osc.) según fórmula ❽.
11) En caso necesario transformar L_W (osc.) en L_{hW} según fórmula ❾.

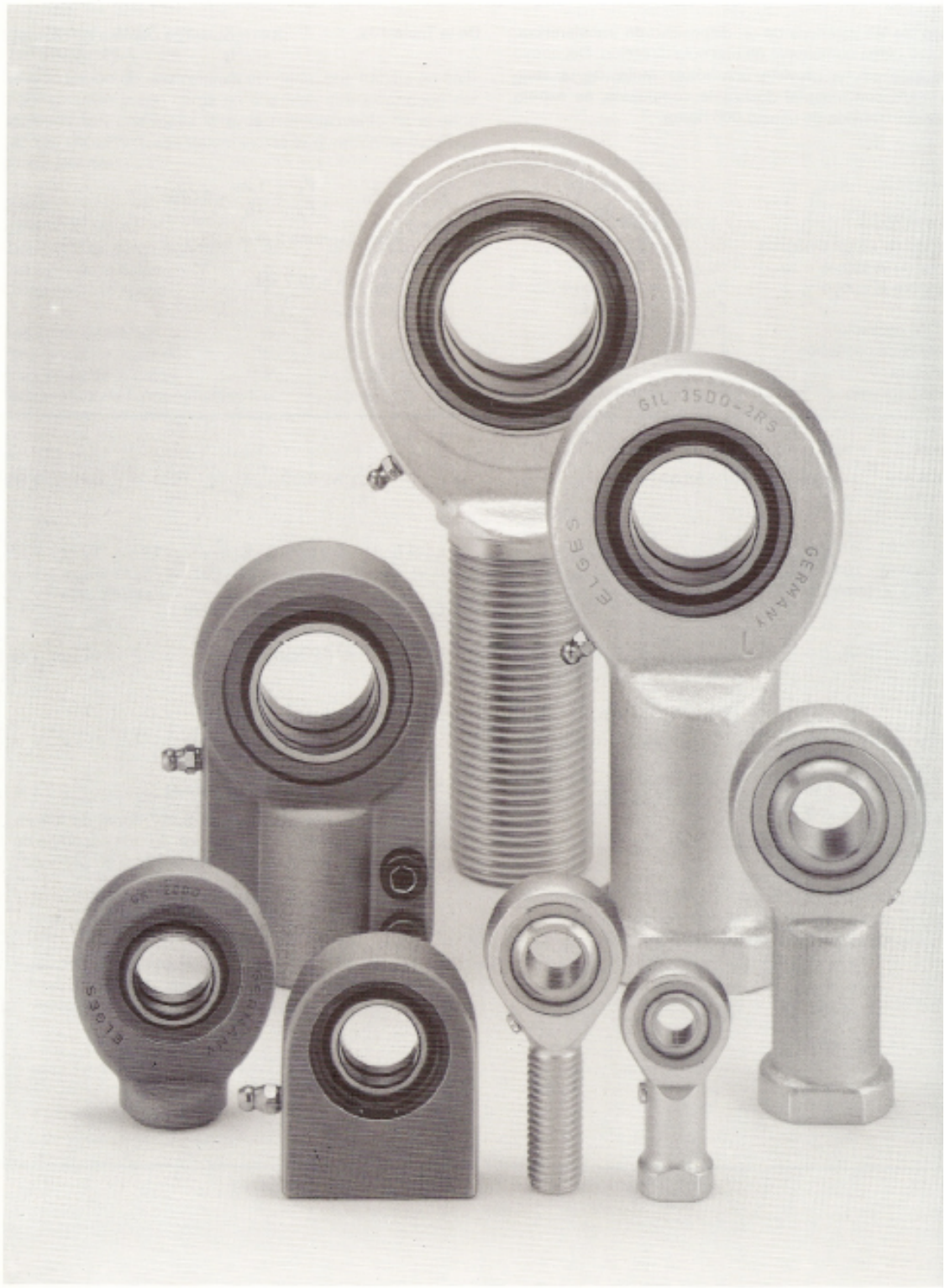
Descripción de los símbolos

p	Carga especifica sobre el apoyo, presión superficial	N/mm²
P	Carga equivalente sobre la rótula	kN
C	Capacidad de carga dinámica de la rótula según tabla de medidas	kN
K	Coeficiente de la capacidad de carga según tabla 10a	N/mm²
v	Velocidad media de deslizamiento	mm/s
d_K	Diámetro de la esfera según tabla de medidas	mm
β	Ángulo de oscilácion (final de carrera a final de carrera) Giro β = 180°	Grados
f	Frecuencia de la oscilación o velocidad de giro	1/min
P_{Hz}	Frecuencia de la carga	Hz
f_{Hz}	Factor de carga variable	
f_2	Factor de temperatura según tabla 10a	
f_4	Factor del tipo de rótula según tabla 10a	
f_5	Factor de carga según tabla 10a	
f_6	Factor de ángulo de oscilación ❹	
f_v	Factor de la velocidad de deslizamiento	
s	Carrera de deslizamiento	Metros
L	Duración de vida con carga constante	Osc.
L_h	Curación de vida con carga constante	Horas
L_W	Duración de vida con carga variable	Osc.
L_{hW}	Duración de vida con carga variable	Horas
t	Temperatura de funcionamiento	°C

Factores	Material deslizante	Tejido PTFE		Compuesto PTFE		Lámina PTFE	
Coeficiente capacidad de carga K	N/mm²	150		100		100	
Factor de temperatura f_2	Campo de temp. °C	- 60 ... 70	>70 ... 150	- 60 ... 95	>95 ... 150	- 60 ... 100	>100 ... 200
	f_2	1	1,35–0,005 · t	1	2,21–0,0127 t	1	1,5–0,005 · t
Factor del tipo de rótula f_4	Radial	1		–		–	
	Contacto angular	0,9		–		–	
	Axial	0,7		–		–	
Factor de carga f_5	Carga alterna	1		1		1	
	Carga límite	1,4		1,4		1,4	

Tabla 10a: Factores para rótulas libres de mantenimiento

3. Cabezas de rótula



3. Cabezas de rótula

Cabezas de rótula

Que requieren mantenimiento			Libres de mantenimiento	
DIN 648 Serie de medidas E	DIN 648 Serie de medidas K	Para mecanismos hidráulicos	DIN 648 Serie de medidas E	DIN 648 Serie de medidas K
GIR . . DO	GIKSR . .	GIHN-K . . LO	GIR . . UK	GIKFR . . PW
GAR . . DO	GAKSR . .	GIHO-K . . DO	GAR . . UK	GIPFR . . PW
GIR . . DO-2RS	GIKMR . .	GIHR . . DO	GIR . . UK-2RS	GAKFR . . PW
GAR . . DO-2RS	GAKMR . .	GIHR-K . . DO	GAR . . UK-2RS	GIKKR . .
GU . . DO	GIKFR . . PB	GK . . DO		GAKKR . .
	GAKFR . . PB	GF . . DO		

Las cabezas de rótula ELGES están formadas por una cabeza con vástago y una rótula, que está unida fijamente al elemento soporte. De esta forma constituyen elementos de apoyo y de unión, listos para el montaje, que gracias a sus roscas para conexión o a sus superficies para soldadura, pueden integrarse sin problemas a las construcciones previstas.

Las designaciones de las cabezas de rótula se derivan, en cada caso del tipo de rótula que llevan montadas.

Ejemplo: Designación de la cabeza de rótula GIR 30 UK, serie de la rótula GE 30 UK.
o bien: Designación de la cabeza de rótula GAKFR 12 PB, serie de la rótula GE 12 PB.

Si la descripción de la cabeza de rótula no incluye la indicación de un tipo de rótula, se trata de una construcción integral de cabeza-rótula.

En los últimos años, las cabeza de rótula ELGES han sido optimizadas gracias a la aplicación de extensos estudios en el campo de la elastoóptica.

La Fig. 33 muestra el modelo de una cabeza de rótula sometida a esfuerzos de tracción, con las líneas de tensión hechas visibles. La densidad de las isocrómatas, como líneas de igual tensión, da idea de la intensidad y la situación de la solicitación del material.

Las cabezas de rótula ELGES están sometidas a severas prescripciones de control de calidad. Así por ejemplo, todas las cabezas de rótula del material GGG 40, han sido sometidas a un ensayo al 100% con ultrasonidos, asegurando así la uniformidad de su estructura.

Además, las cabezas de rótula ELGES son sometidas a ensayos en modernas instalaciones, para comprobar la ausencia de grietas.

Las medidas de control de calidad efectuadas permiten garantizar con suficiente seguridad, el correcto estado de muestros productos. Pero en caso de utilizar nuestras rótulas o cabezas de rótula en campos de aplicación que requieran una seguridad especialmente elevada, son a menudo necesarias medidas especiales de control. En estos casos rogamos nos pasen la correspondiente información en el momento de la demanda.

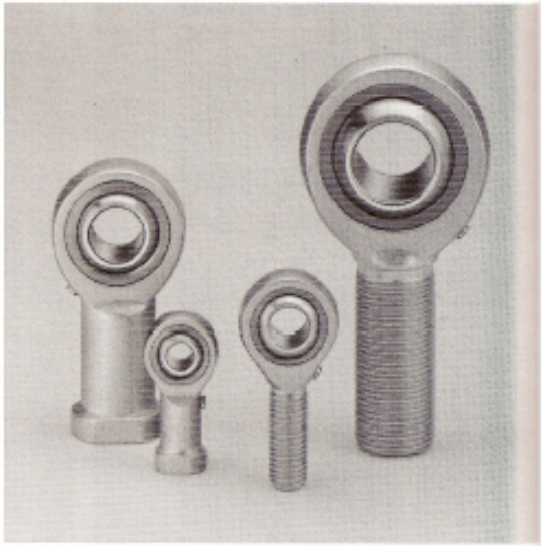
Fig. 34

3.1 Características

3.1.1 Las cabezas de rótula ELGES DIN 648, serie de medidas E, se construyen de acero C45 forjado a estampa y bonificado.

Las superficies están protegidas contra la corrosión mediante un recumbrimiento de cinc aplicado mediante galvanizado. En esta ejecución las rótulas son fijadas en su alojamiento mediante un recalcado circular (rebordeado).

Las cabezas de rótula DIN 648, serie de medidas E, pueden ser suministradas, a elección, con roscas exteriores (forma A) o interiores (forma B), a derecha o a izquierda, según DIN 13. Se dispone además, de la serie GU . . DO, que tiene el vástago sin mecanizar. En esta ejecución el cliente puede tallar roscas especiales, exteriores o interiores.



3.1.2 Las cabezas de rótula ELGES DIN 648, serie de medidas K, se construyen en las siguientes ejecuciones y superficies de fricción:

Acero/ acero	Acero/ latón	Acero/ bronce	Acero/ lámina PTFE	Acero/GFK + PTFE
GIK3R.. GAKSR..	GIKMR.. GAKMR..	GIKFR..PB GAKFR..PB	GIKFR..PW GAKFR..PW GIPFR.. PW	GIKKR.. GAKKR..

Las cabezas de rótula ELGES DIN 648, serie de medidas K, han sido desarrolladas especialmente para cilindros neumáticos y mecanismos de biela, en los campos de aplicación de las artes gráficas y máquinas de embalar, instalaciones de llenado, máquinas de etiquetar y mandos mecánicos.

Material
Hasta la medida de 14 mm, las cabezas se fabrican de acero de fácil mecanizado (Acero al plomo, para tornos automáticos 9SMnPb28K y a partir de 16 mm, de acero C45 estampado y bonificado. Pueden ser suministradas tanto con rosca interior como exterior. Su superficie ha sido cincada por galvanizado.

Salvo la serie de tipos **GIPFR . . PW** que dispone de rosca interior a la derecha, según la recomendación **CETOP**[1] **RP 103 P,** las restantes series arriba mencionadas se suministran con rosca a la derecha y a la izquierda.

[1] CETOP = Comité Européen des Transmissions Oléo-hydrauliques et Pneumatiques

60 **ELGES**

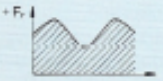
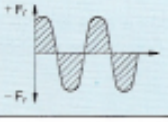
3.2 Cálculo de cabezas de rótula

3.2.1 Capacidades de carga

Las **capacidades de carga C** indicadas en las tablas de medidas de las cabezas de rótula, se refieren en cada caso a las **rótulas** montadas en el correspondiente tipo de cabeza y sirven como base de cálculo de la duración de vida del elemento de apoyo.
Si además de la carga radial en dirección de la tracción o la compresión, existen otras componentes de la carga en dirección axial, o también radial con relación a la cabeza de rótula, sus influencias deben ser tenidas en cuenta, en primer lugar para la determinación de la carga equivalente sobre el apoyo, y en segundo lugar, para el cálculo de la tensión flectora adicional en la zona del vástago.
La **capacidad de carga estática C_0**, indicada en las tablas de medidas de las cabezas de rótula, se refiere exclusivamente a la capacidad de carga **de la cabeza.** Da idea de la máxima carga a tracción admisible en reposo, en la zona de la sección más solicitada, utilizando aprox. el 83 % del límite elástico del material.

3.2.2 Carga admisible en la cabeza de rótula

Según el tipo de solicitación de la cabeza de rótula, debe comprobarse la carga admisible. Dado que las cargas límite o alternas, a igualdad de carga nominal, solicitan más fuertemente el material que las cargas en reposo, para aquellas condiciones de funcionamiento deben tenerse en cuenta los siguientes factores de reducción, al calcular la carga admisible en la cabeza de rótula:

Caso de carga	Carga	Factor de carga f_b
I	constante tiempo	1
II	pulsante  tiempo	2 (2,75)
III	alterna  tiempo	2 (2,75)

$$P_{adm} = \frac{C_0}{f_b}$$

P_{adm}	Carga admisible en la cabeza de rótula kN
C_0	Capacidad de carga estática de la cabeza de rótula kN
f_b	Factor de carga

Los valores entre paréntesis son válidos para cabezas de rótula con engrasador o con agujero de engrase.

3.2.3 Mantenimiento

Las cabezas de rótula ELGES llevan dispositivos de engrase, cuando las rótulas montadas en la cabeza corresponden a una ejecución que requieren mantenimiento. Forman una excepción aquellos tipos que aun requeriéndolo, pero que debido a su tamaño no permiten la realización de ranuras y agujeros de engrase. Los tipos que se encuentran en este caso, están marcados en las tablas de medidas.

Las cabezas de rótula según DIN 648, serie de medidas E con diámetro de agujero desde 15 hasta 20 mm, pueden ser reengrasadas a través de un agujero en la cabeza de la rótula. Por motivos de resistencia, en estos tamaños no se monta engrasador.

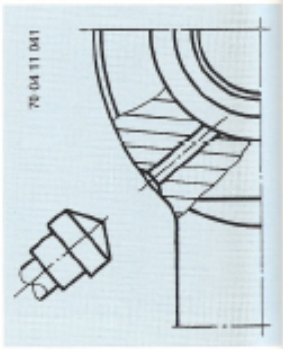


Fig. 35

Roscas

Todas las roscas de las cabezas de rótula ELGES, son métricas según DIN 13, clase de tolerancia media, 6H, 6g.

En las indicaciones del catálogo sobre las longitudes de rosca, se trata de valores mínimos de la longitud útil de la rosca. Se ha tomado como base de partida la longitud de rosca corriente de la pieza de unión.

3.2.4 Cálculo de la duración de vida

Básicamente, para las cabezas de rótula deben efectuarse dos cálculos:
1. Determinación de la carga admisible sobre la cabeza de rótula
2. Cálculo de la duración de vida de la correspondiente rótula.

Debe controlarse, además si la carga equivalente P sobre la rótula, no sobrepasa la carga P_{adm} sobre la cabeza de rótula.

A partir del diámetro de 25 mm, todas las cabezas de rótula DIN 648, serie de medidas E y las cabezas de rótula ELGES para mecanismos hidráulicos, llevan un engrasador cónico según DIN 71412. Estos engrasadores tienen una rosca cónica endurecida autorroscante.

Las cabezas de rótula según DIN 648, serie de medidas K, que requieren mantenimiento, poseen un engrasador según DIN 3405 que, en las cabezas de rótula con rosca interior, va montado en el vástago y en las de rosca exterior, en la cabeza.

Para el mantenimiento rigen los mismos criterios que para las rótulas que las cabezas llevan montadas; ver parte técnica: Rótulas que requieren mantenimiento.

3.2 Cálculo de cabezas de rótula

Ejemplo de cálculo 7

El apoyo del pivote de la palanca oscilante en un dispositivo de alimentación de un horno contínuo, debe ser equipado, dado que la dirección de la carga es en una sola dirección, con una cabeza de rótula libre de mantenimiento de la serie GIR . . UK-2RS. La carga sobre el apoyo es una fuerza sinusoidal variable entre 22 y 75 kN. Debido a la proximidad del horno, hay una temperatura de funcionamiento de 110°C. Debe determinarse un tamaño de cabeza de rótula que permita una duración de vida, por lo menos de 10.000 horas.

1. Cálculo del tamaño de la cabeza de rótula

Datos: Carga sobre la cabeza de rótula $F_{R máx}$ = 75 kN
Dirección de la carga = una sola dirección
Tipo de carga = pulsante
Factor de carga f_b = 2,00

$$P_{adm} = \frac{C_0}{f_b}$$

$C_{0\,min} = F_{R\,max} \cdot f_b$
$C_{0\,min} = 75\ kN \cdot 2$
$C_{0\,min} = 150\ kN$

En la tabla de medidas de la página 130 se elige la cabeza de rótula GIR 40 UK-2RS, con una capacidad de carga C_0 = 180 kN
$C_{0\,min}$ = 150 kN < C_0 = 180 kN

2. Cálculo de la duración de vida de la rótula GE 40 UK-2RS

$$P = \sqrt{\frac{F_{R\,min}^2 + F_{R\,máx}^2}{2}} = \sqrt{\frac{22^2 + 75^2}{2}}$$

P = 55,27 kN

Datos:

Serie de la rótula		= GE 40 UK-2RS
Capacidad de carga dinámica	C	= 140 kN
Diámetro de la esfera	d_K	= 53 mm
Carga sobre el apoyo	$F_{máx}$	= 75 kN
	$F_{mín}$	= 22 kN
Carga equivalente	P	= 55,27 kN
Ángulo de oscilación	β	= 47°
Frecuencia de oscilación	f	= 5,4 (1/min)
Tipo de carga		pulsante
Frecuencia de la carga	P_{Hz}	= 0,09 Hz
Temperatura de funcionamiento	t	= 110 °C
Coef. de capacidad de carga	K	= 150 N/mm² (Tabla 10a)
Factor de temperatura	f_2	= 1,35–0,005 · t (Tabla 10a)
Factor del tipo de rótula	f_4	= 1 (Tabla 10 a)
Factor de carga	f_5	= 1,4 (Tabla 10a)

❶ $p = K \cdot \frac{P}{C} = 150 \cdot \frac{55,27}{140}$
$p = 59,22\ N/mm^2$

❷ $v = 2,91 \cdot 10^{-4} \cdot f_4 \cdot d_K \cdot \beta \cdot f$
$v = 2,91 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 53 \cdot 47 \cdot 5,4$
$v = 3,91\ mm/s$

❸ $f_v = \frac{2,1048}{2,255^x}$ $\quad x = \frac{v \cdot 1,0193^p}{171,69}$

$x = \frac{3,91 \cdot 1,0193^{59,22}}{171,69} = 0,07064$

$f_v = \frac{2,1048}{2,255^{0,07064}} = 1,9873$

❹ $f_6 = 0,7579 \cdot 1,0093^{\beta}$
$f_6 = 0,7579 \cdot 1,0093^{47} = 1,171$
s para p = 59,22 N/mm² según Diagrama 10 → = 181.000 metros

❺ $L = \frac{f_2 \cdot f_v}{f_6} \cdot \frac{s \cdot f}{v} \cdot 14$

$L = \frac{(1,35–0,005 \cdot t) \cdot f_v}{f_6} \cdot \frac{s \cdot f}{v} \cdot 14$

$L = \frac{(1,35–0,005 \cdot 110) \cdot 1,9873}{1,171} \cdot \frac{181.000 \cdot 5,4}{3,91} \cdot 14$

L = 4.751.384 oscilaciones

❼ $f_{Hz} = 0,433 - \frac{P_{Hz} \cdot p^{1,11}}{232,53}$

$f_{Hz} = 0,433 - \frac{0,09 \cdot 59,22^{1,11}}{232,53}$

$f_{Hz} = 0,397$

❽ $L_W = L \cdot f_{Hz} \cdot f_5 = 4.751.384 \cdot 0,397 \cdot 1,4$
$L_W = 2.640.819$ oscilaciones

❾ $L_{HW} = \frac{L_W}{f \cdot 60} = \frac{2.640.819}{5,4 \cdot 60}$

L_{HW} = 8.150 horas de funcionamiento

No se alcanza la duración de vida deseada de 10.000 horas de funcionamiento. Dado que la diferencia no es muy grande, se repite el cálculo para el tamaño siguiente de cabeza de rótula GIR 45 UK-2RS.

Datos:

Serie de la rótula		= GE 45 UK-2RS
Capacidad de carga dinamica	C	= 180 kN
Diámetro de la esfera	d_K	= 60 mm

Cálculo según las fórmulas ❶,❷,❸,❹,❺,❼

L_{HW} = 10.428 horas de funcionamiento

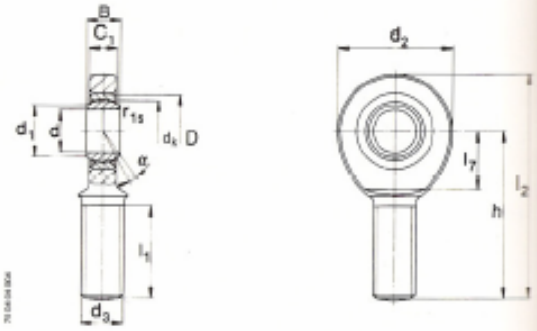
Aunque una cabeza de rótula de 40 mm hubiese sido suficiente en cuanto a resistencia, es necesario elegir una cabeza de rótula de 45 mm, para alcanzar la duración de vida deseada de 10.000 horas.

64 ELGES

Cabezas de rótula

DIN 648, serie de medidas E – ISO 6126
Superficies de fricción: cromo duro/PTFE

GAR..UK
GAR..UK-2RS



Referencias[1])	Medidas									
	d mm	D	B	d_K	d_1	d_2	d_3	h	C_1	α Grados
GAR 6 UK	6 -0,008	14	6 -0,12	10	8	21	M 6	36	4,4	13
GAR 8 UK	8 -0,008	16	8 -0,12	13	10,2	24	M 8	42	6	15
GAR 10 UK	10 -0,008	19	9 -0,12	16	13,2	29	M 10	48	7	12
GAR 12 UK	12 -0,008	22	10 -0,12	18	14,9	34	M 12	54	8	11
GAR 15 UK	15 -0,008	26	12 -0,12	22	18,4	40	M 14	63	10	8
GAR 17 UK	17 -0,008	30	14 -0,12	25	20,7	46	M 16	69	11	10
GAR 20 UK	20 -0,010	35	16 -0,12	29	24,1	53	M 20x1,5	78	13	9
GAR 25 UK	25 -0,010	42	20 -0,12	35,5	29,3	64	M 24x2	94	17	7
GAR 30 UK	30 -0,010	47	22 -0,12	40,7	34,2	73	M 30x2	110	19	6
GAR 35 UK-2RS	35 -0,012	55	25 -0,12	47	39,7	82	M 36x3	140	21	6
GAR 40 UK-2RS	40 -0,012	62	28 -0,12	53	45	92	M 39x3	150	23	7
GAR 45 UK-2RS	45 -0,012	68	32 -0,12	60	50,7	102	M 42x3	163	27	7
GAR 50 UK-2RS	50 -0,012	75	35 -0,12	66	55,9	112	M 45x3	185	30	6
GAR 60 UK-2RS	60 -0,015	90	44 -0,15	80	66,8	135	M 52x3	210	38	6
GAR 70 UK-2RS	70 -0,015	105	49 -0,15	92	77,8	160	M 56x4	235	42	6
GAR 80 UK-2RS	80 -0,015	120	55 -0,15	105	89,4	180	M 64x4	270	47	6

[1]) En caso de rosca izquierda se sustituye la R por una L (Ejemplo: GAL...)

130 ELGES

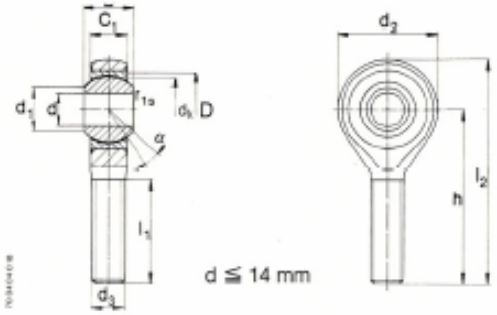
d	Medidas l_1	l_2	l_7	Medida del borde $r_{1s\ min}$	Capacidades de carga din. C	estát. C_0 [1]	Juego radial	Peso
mm	mm			mm	kN		mm	kg
6	18	46,5	12	0,3	3,60	8,15	0 — 0,032	0,017
8	22	54	14	0,3	5,85	12,9	0 — 0,032	0,029
10	26	62,5	15	0,3	8,65	17,6	0 — 0,032	0,051
12	28	71	18	0,3	11,4	24,5	0 — 0,032	0,086
15	34	83	20	0,3	17,6	36,0	0 — 0,040	0,14
17	36	92	23	0,3	22,4	45,0	0 — 0,040	0,19
20	43	104,5	27	0,3	31,5	60,0	0 — 0,040	0,31
25	53	126	32	0,6	51,0	83,0	0 — 0,050	0,56
30	65	146,5	37	0,6	65,5	110	0 — 0,050	0,89
35	82	181	42	0,6	112	146	0 — 0,050	1,4
40	86	196	48	0,6	140	180	0 — 0,060	1,8
45	94	214	52	0,6	180	240	0 — 0,060	2,6
50	107	241	60	0,6	220	290	0 — 0,060	3,4
60	115	277,5	75	1,0	345	450	0 — 0,060	5,9
70	125	315	87	1,0	440	610	0 — 0,072	8,2
80	140	360	100	1,0	570	750	0 — 0,072	12,0

[1]) Capacidad de carga de la cabeza

Cabezas de rótula

DIN 648, serie de medidas K – ISO 6126
Superficies de fricción: acero/PTFE

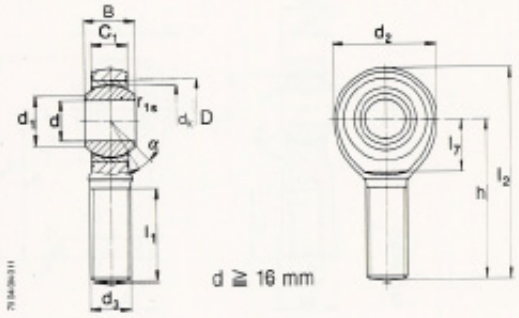
GAKFR..PW



Referencia[1]	Medidas									
	d[2] mm	D	B	d_K	d_1	d_2	d_3	h	C_1	α Grados
GAKFR 5 PW	5 +0,012	13	8 -0,12	11,112	7,7	18	M 5	33	6	13
GAKFR 6 PW	6 +0,012	16	9 -0,12	12,7	8,9	20	M 6	36	6,75	13
GAKFR 8 PW	8 +0,015	19	12 -0,12	15,875	10,3	24	M 8	42	9	14
GAKFR 10 PW	10 +0,015	22	14 -0,12	19,05	12,9	28	M 10	48	10,5	13
GAKFR 12 PW	12 +0,018	26	16 -0,12	22,225	15,4	32	M 12	54	12	13
GAKFR 14 PW	14 +0,018	28[3]	19 -0,12	25,4	16,8	36	M 14	60	13,5	16
GAKFR 16 PW	16 +0,018	32	21 -0,12	28,575	19,3	42	M 16	66	15	15
GAKFR 18 PW	18 +0,018	35	23 -0,12	31,75	21,8	46	M 18x1,5	72	16,5	15
GAKFR 20 PW	20 +0,021	40	25 -0,12	34,925	24,3	50	M 20x1,5	78	18	14
GAKFR 22 PW	22 +0,021	42	26 -0,12	38,1	25,8	54	M 22x1,5	84	20	15
GAKFR 25 PW	25 +0,021	47	31 -0,12	42,85	29,5	60	M 24x2	94	22	15
GAKFR 30 PW	30 +0,021	55	37 -0,12	50,80	34,8	70	M 30x2	110	25	17

[1]) En caso de rosca izquierda se sustituye la R por una L (Ejemplo: GAKFL...)
[2]) Tolerancia de agujero: H7 (valor medio aritmético)
[3]) Modificada respecto a la serie de medidas K, DIN 648

134 ELGES



d mm	Medidas l_1 mm	l_2	l_7	Medida del borde r_{1s} min mm	Capacidades de carga din. C kN	estát. C_0 [1])	Juego radial mm	Peso kg
5	19	42	—	0,3	6,0	3,10	0 — 0,035	0,013
6	21	46	—	0,3	7,65	4,40	0 — 0,035	0,020
8	25	54	—	0,3	12,9	8,00	0 — 0,035	0,038
10	28	62	—	0,3	18,0	12,9	0 — 0,035	0,055
12	32	70	—	0,3	24,0	17,0	0 — 0,035	0,085
14	36	78	18	0,3	31,0	21,0	0 — 0,035	0,14
16	37	87	23	0,3	39,0	28,5	0 — 0,035	0,21
18	41	95	25	0,3	47,5	42,5	0 — 0,035	0,28
20	45	103	26	0,3	57,0	42,5	0 — 0,035	0,38
22	48	111	29	0,3	68,0	57,0	0 — 0,035	0,48
25	55	124	32	0,3	85,0	68,0	0 — 0,035	0,64
30	66	145	37	0,3	114	88,0	0 — 0,035	1,1

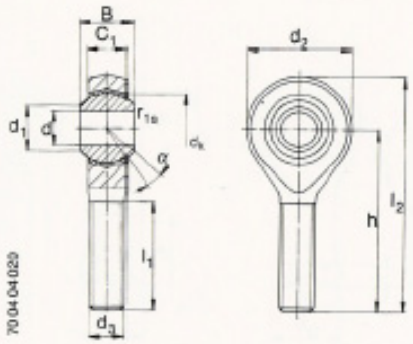
[1]) Capacidad de carga de la cabeza

ELGES 135

Cabezas de rótula

DIN 648, serie de medidas K – ISO 6126
Superficies de fricción: acero/GFK + PTFE

GAKKR . .



Referencia[1]	Medidas								
	d[2] mm	B	d_K	d_1	d_2	d_3	h	C_1	α Grados
GAKKR 5	5 +0,012	8 -0,12	11,112	7,7	18	M 5	33	6	13
GAKKR 6	6 +0,012	9 -0,12	12,7	8,9	20	M 6	36	6,75	13
GAKKR 8	8 +0,015	12 -0,12	15,875	10,3	24	M 8	42	9	14
GAKKR 10	10 +0,015	14 -0,12	19,05	12,9	28	M 10	48	10,5	13
GAKKR 12	12 +0,018	16 -0,12	22,225	15,4	32	M 12	54	12	13
GAKKR 14	14 +0,018	19 -0,12	25,4	16,8	36	M 14	60	13,5	16

[1]) En caso de rosca izquierda se sustituye la R por una L (Ejemplo: GAKKL...)
[2]) Tolerancia de agujero: H7 (valor medio aritmético)

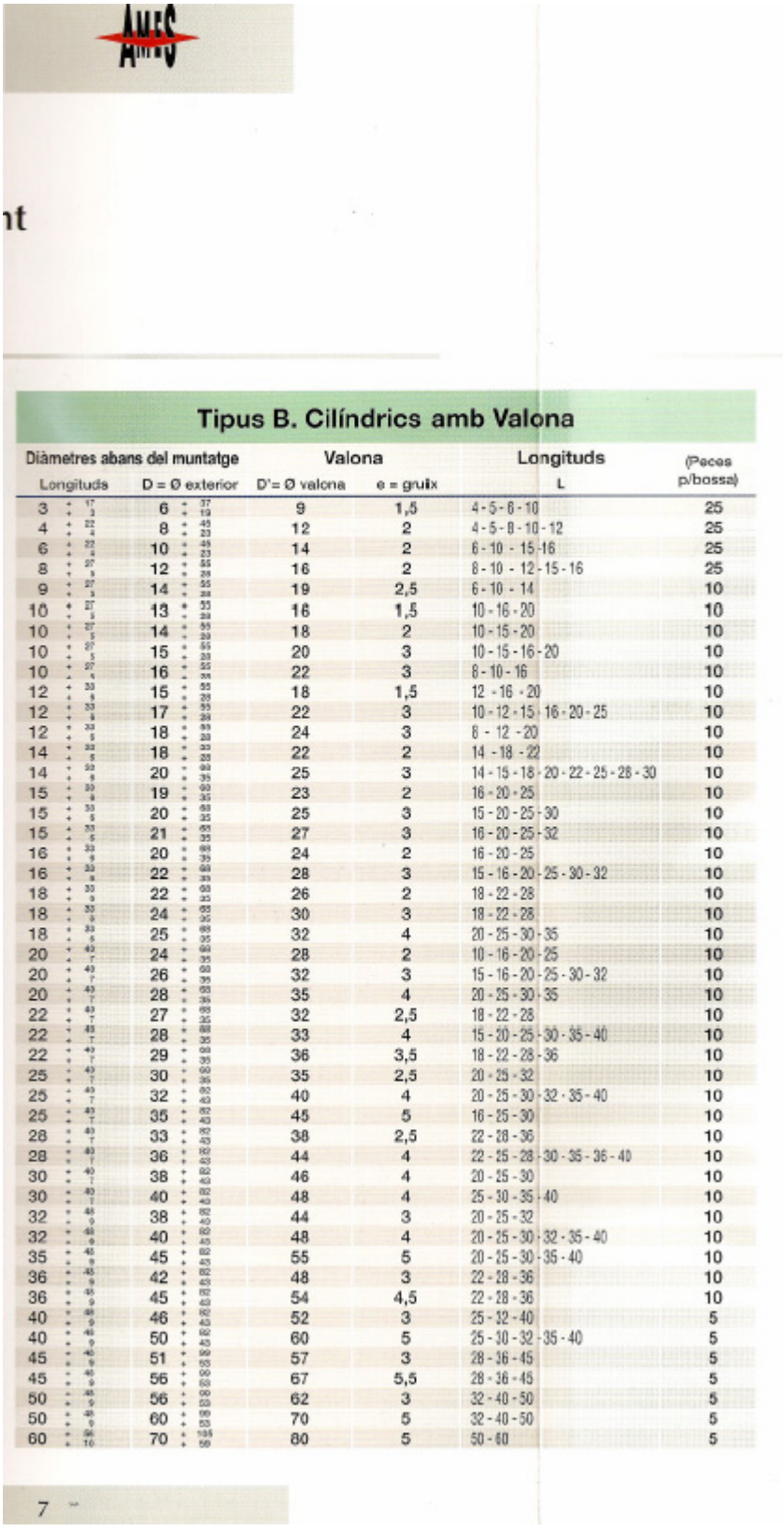
138 ELGES

d mm	Medidas l_1 mm	l_2	l_7	Medida del borde $r_{1s\ min}$ mm	Capacidades de carga din. C kN	estát. C_0 [1])	Mto. de oscilación máx N - cm	Peso kg
5	19	42	—	0,3	3,25	3,10	7	0,013
5	21	46	—	0,3	4,30	4,40	10	0,020
8	25	54	—	0,3	7,20	8,00	22	0,038
10	28	62	—	0,3	10,0	12,9	36	0,055
12	32	70	—	0,3	13,4	17,0	55	0,085
14	36	78	16	0,3	17,0	24,0	82	0,14

[1]) Capacidad de carga de la cabeza

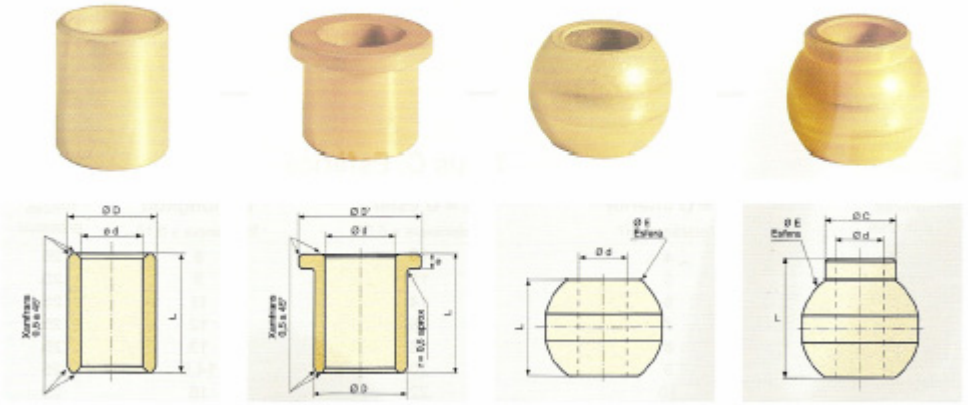
ELGES 139

H.6. Coixinets antifricció amb valona SELFOIL



Tipus B. Cilíndrics amb Valona

Diàmetres abans del muntatge		Valona		Longituds	(Peces p/bossa)
Longituds	D = Ø exterior	D'= Ø valona	e = gruix	L	
3	6	9	1,5	4 - 5 - 6 - 10	25
4	8	12	2	4 - 5 - 8 - 10 - 12	25
6	10	14	2	6 - 10 - 15 - 16	25
8	12	16	2	8 - 10 - 12 - 15 - 16	25
9	14	19	2,5	6 - 10 - 14	10
10	13	16	1,5	10 - 16 - 20	10
10	14	18	2	10 - 15 - 20	10
10	15	20	3	10 - 15 - 16 - 20	10
10	16	22	3	8 - 10 - 16	10
12	15	18	1,5	12 - 16 - 20	10
12	17	22	3	10 - 12 - 15 - 16 - 20 - 25	10
12	18	24	3	8 - 12 - 20	10
14	18	22	2	14 - 18 - 22	10
14	20	25	3	14 - 15 - 18 - 20 - 22 - 25 - 28 - 30	10
15	19	23	2	16 - 20 - 25	10
15	20	25	3	15 - 20 - 25 - 30	10
15	21	27	3	16 - 20 - 25 - 32	10
16	20	24	2	16 - 20 - 25	10
16	22	28	3	15 - 16 - 20 - 25 - 30 - 32	10
18	22	26	2	18 - 22 - 28	10
18	24	30	3	18 - 22 - 28	10
18	25	32	4	20 - 25 - 30 - 35	10
20	24	28	2	10 - 16 - 20 - 25	10
20	26	32	3	15 - 16 - 20 - 25 - 30 - 32	10
20	28	35	4	20 - 25 - 30 - 35	10
22	27	32	2,5	18 - 22 - 28	10
22	28	33	4	15 - 20 - 25 - 30 - 35 - 40	10
22	29	36	3,5	18 - 22 - 28 - 36	10
25	30	35	2,5	20 - 25 - 32	10
25	32	40	4	20 - 25 - 30 - 32 - 35 - 40	10
25	35	45	5	16 - 25 - 30	10
28	33	38	2,5	22 - 28 - 36	10
28	36	44	4	22 - 25 - 28 - 30 - 35 - 36 - 40	10
30	38	46	4	20 - 25 - 30	10
30	40	48	4	25 - 30 - 35 - 40	10
32	38	44	3	20 - 25 - 32	10
32	40	48	4	20 - 25 - 30 - 32 - 35 - 40	10
35	45	55	5	20 - 25 - 30 - 35 - 40	10
36	42	48	3	22 - 28 - 36	10
36	45	54	4,5	22 - 28 - 36	10
40	46	52	3	25 - 32 - 40	5
40	50	60	5	25 - 30 - 32 - 35 - 40	5
45	51	57	3	28 - 36 - 45	5
45	56	67	5,5	28 - 36 - 45	5
50	56	62	3	32 - 40 - 50	5
50	60	70	5	32 - 40 - 50	5
60	70	80	5	50 - 60	5



Tipus A Cilíndrics

TOLERÀNCIES

Coixinets sense muntar:

d = ø interior	Tolerància: G7
D = Ø exterior	Tolerància: s7
L = Longitud	Tolerància: js13

Excentricitat. Lectura total de comparador:

Ø ext. fins a 50: IT-9 min 50 µm
Ø ext. > 50 IT-10

Coixinets després de calatge

Vegeu condicions de muntatge a les pàgines 16 fins a 17.

DESIGNACIÓ

Un coixinet de Ø interior 22 mm, Ø exterior 28 mm i longitud 30 mm es designarà de la manera següent:

– Coixinet SELFOIL A-22-28-30

(La lletra A caracteritza els coixinets Cilíndrics).

Tipus B Cilíndrics amb Valona

TOLERÀNCIES

Coixinets sense muntar:

d = ø interior	Tolerància: G8
D = Ø exterior	Tolerància: s8
L = Longitud	Tolerància: js13
D' = Ø Valona	Tolerància: js13
e = Gruix	Tolerància: js14

Excentricitat. Lectura total de comparador:

Ø ext. fins a 50: IT-9 min 50 µm
Ø ext. > 50 IT-10

Coixinets després de calatge

Vegeu condicions de muntatge a les pàgines 16 fins a 17.

DESIGNACIÓ

Un coixinet de Ø interior 22 mm, Ø exterior 28 mm i Longitud 30 mm es designarà de la manera següent:

– Coixinet SELFOIL B-22-28-30/33-4

(La lletra B caracteritza els coixinets Cilíndrics amb Valona)

Tipus C Esfèrics

DESIGNACIÓ

Un coixinet esfèric de: Ø interior 10 mm, Ø Esfera 22 mm i Longitud 16 mm es designarà de la manera següent:

– Coixinet SELFOIL C-10-22-16

(La lletra C caracteritza els coixinets Esfèrics).

Tipus D Esfèrics amb coll

DESIGNACIÓ

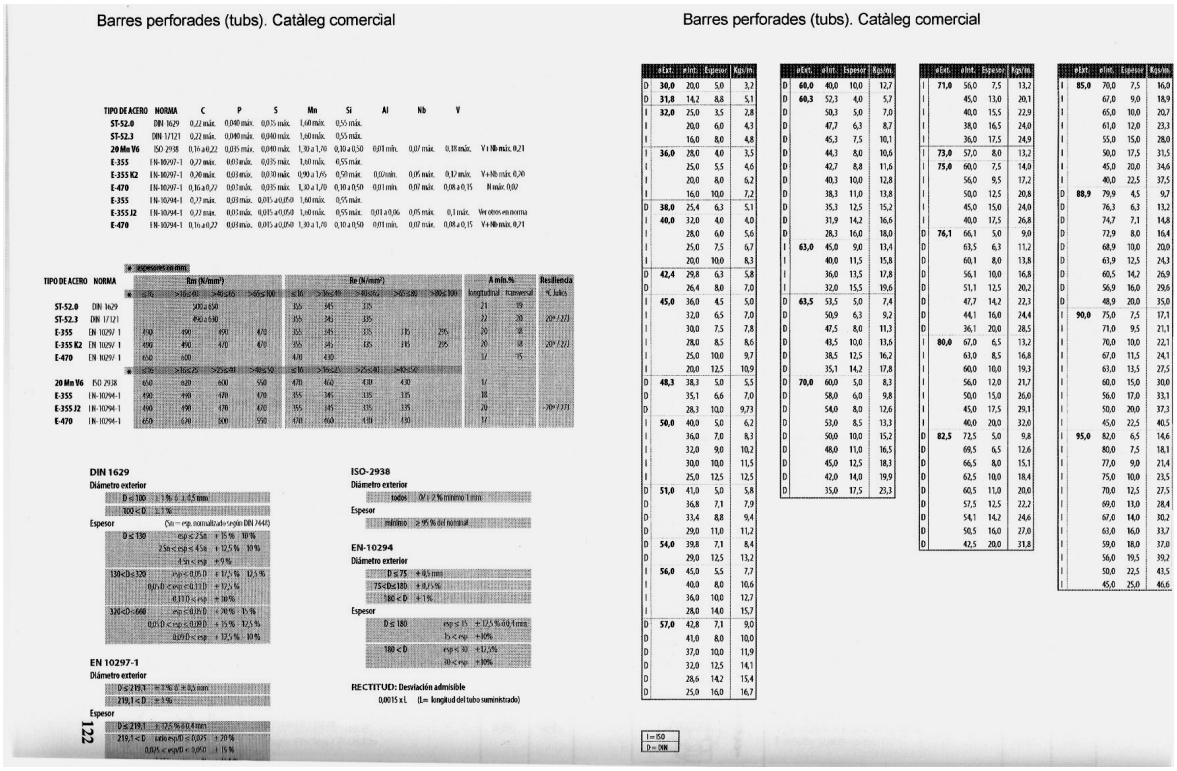
Un coixinet esfèric amb coll de: Ø interior 10 mm, Ø Esfera 22 mm, Ø Coll 15 mm i Longitud total 18 mm es designarà de la manera següent:

– Coixinet SELFOIL D-10-22-15-18

(La lletra D caracteritza els coixinets esfèrics amb coll)

9

H.7. Tubs d'acer



Barres perforades (tubs). Catàleg comercial

TIPO DE ACERO	NORMA	C	P	S	Mn	Si	Al	Nb	V	
ST-52.0	DIN 1629	0,22 máx.	0,040 máx.	0,035 máx.	1,60 máx.	0,55 máx.				
ST-52.3	DIN 17121	0,22 máx.	0,040 máx.	0,040 máx.	1,60 máx.	0,55 máx.				
20 Mn V6	ISO 2938	0,16 a 0,22	0,035 máx.	0,040 máx.	1,30 a 1,70	0,30 a 0,50	0,01 mín.	0,07 máx.	0,18 máx.	V + Nb máx. 0,21
E-355	EN-10297-1	0,22 máx.	0,03 máx.	0,035 máx.	1,60 máx.	0,55 máx.				
E-355 K2	EN-10297-1	0,20 máx.	0,03 máx.	0,030 máx.	0,90 a 1,65	0,50 máx.	0,020 mín.	0,05 máx.	0,12 máx.	V + Nb máx. 0,30
E-470	EN-10297-1	0,16 a 0,22	0,03 máx.	0,035 máx.	1,30 a 1,70	0,30 a 0,50	0,01 mín.	0,07 máx.	0,08 a 0,15	N máx. 0,02
E-355	EN-10294-1	0,22 máx.	0,03 máx.	0,035 a 0,050	1,60 máx.	0,55 máx.				
E-355 J2	EN-10294-1	0,22 máx.	0,03 máx.	0,035 a 0,050	1,60 máx.	0,55 máx.	0,01 a 0,06	0,05 máx.	0,1 máx.	Ver otros en norma
E-470	EN-10294-1	0,16 a 0,22	0,03 máx.	0,035 a 0,050	1,30 a 1,70	0,30 a 0,50	0,01 mín.	0,07 máx.	0,08 a 0,15	V + Nb máx. 0,21

* espesores en mm

TIPO DE ACERO	NORMA		Rm (N/mm²)				Re (N/mm²)				A mín. %		Resiliencia
		*	≤ 16	> 16 a 40	> 40 a 65	> 65 a 100	≤ 16	> 16 a 40	> 40 a 65	> 65 a 100	longitudinal	transversal	% Joules
ST-52.0	DIN 1629			500 a 650			355	345	335		21	99	
ST-52.3	DIN 17121			490 a 630			355	345	335		22	20	
E-355	EN 10297-1		490	490	490	470	355	345	335	315	22	18	20* / 27J
E-355 K2	EN 10297-1		490	490	470	470	355	345	335	315	20	18	20* / 27J
E-470	EN 10297-1		650	600			470	430			17	15	
		*	≤ 16	> 16 a 25	> 25 a 40	> 40 a 50	≤ 16	> 16 a 25	> 25 a 40	> 40 a 50			
20 Mn V6	ISO 2938		650	620	600	590	470	460	430	420	17		
E-355	EN-10294-1		490	490	470	470	355	345	335	335	18		
E-355 J2	EN-10294-1		490	490	470	470	355	345	335	335	20		20* / 27J
E-470	EN-10294-1		650	630	600	590	470	460	430	420	17		

DIN 1629

Diámetro exterior

D ≤ 100	± 1 % ó ± 0,5 mm
100 < D	± 1 %

Espesor (Sn = esp. normalizado según DIN 2448)

D ≤ 139	esp ≤ 2,5 Sn	± 15 %	10 %
	2,5 Sn < esp ≤ 4 Sn	± 12,5 %	10 %
	4 Sn < esp	± 9 %	
139 < D ≤ 329	esp ≤ 0,05 D	± 12,5 %	12,5 %
	0,05 D < esp ≤ 0,11 D	± 12,5 %	
	0,11 D < esp	± 10 %	
329 < D < 660	esp ≤ 0,05 D	± 20 %	15 %
	0,05 D < esp ≤ 0,09 D	± 15 %	12,5 %
	0,09 D < esp	± 12,5 %	10 %

EN 10297-1

Diámetro exterior

D ≤ 219,1	± 1 % ó ± 0,5 mm
219,1 < D	± 1 %

Espesor

D ≤ 219,1		± 12,5 % ó 0,4 mm	
219,1 < D	ratio esp/D < 0,075	± 20 %	
	0,075 < esp/D < 0,050	± 15 %	

ISO-2938

Diámetro exterior

todos	ΔY ≤ 2 % mínimo 1 mm

Espesor

mínimo	≥ 95 % del nominal

EN-10294

Diámetro exterior

D ≤ 75	± 0,5 mm	
75 < Ds ≤ 180	± 0,7 %	
180 < D	± 1 %	

Espesor

D ≤ 180	esp ≤ 15	± 12,5 % ó 0,4 mm	
	15 < esp	± 10 %	
180 < D	esp < 30	± 12,5 %	
	30 < esp	± 10 %	

RECTITUD: Desviación admisible

0,0015 xL (L= longitud del tubo suministrado)

122

Barres perforades (tubs). Catàleg comercial

	eExt.	eInt.	Espesor	Kgs/m.
D	30,0	20,0	5,0	3,2
D	31,8	14,2	8,8	5,1
I	32,0	25,0	3,5	2,8
I		20,0	6,0	4,3
I		16,0	8,0	4,8
I	36,0	28,0	4,0	3,5
I		25,0	5,5	4,6
I		20,0	8,0	6,2
I		16,0	10,0	7,2
D	38,0	25,4	6,3	5,1
I	40,0	32,0	4,0	4,0
I		28,0	6,0	5,6
I		25,0	7,5	6,7
I		20,0	10,0	8,3
D	42,4	29,8	6,3	5,8
D		26,4	8,0	7,0
I	45,0	36,0	4,5	5,0
I		32,0	6,5	7,0
I		30,0	7,5	7,8
I		28,0	8,5	8,6
I		25,0	10,0	9,7
I		20,0	12,5	10,9
D	48,3	38,3	5,0	5,5
D		35,1	6,6	7,0
D		28,3	10,0	9,73
I	50,0	40,0	5,0	6,2
I		36,0	7,0	8,3
I		32,0	9,0	10,2
I		30,0	10,0	11,5
I		25,0	12,5	12,5
D	51,0	41,0	5,0	5,8
D		36,8	7,1	7,9
D		33,4	8,8	9,4
D		29,0	11,0	11,2
D	54,0	39,8	7,1	8,4
D		29,0	12,5	13,2
I	56,0	45,0	5,5	7,7
I		40,0	8,0	10,6
I		36,0	10,0	12,7
I		28,0	14,0	15,7
D	57,0	42,8	7,1	9,0
D		41,0	8,0	10,0
D		37,0	10,0	11,9
D		32,0	12,5	14,1
D		28,6	14,2	15,4
D		25,0	16,0	16,7

	eExt.	eInt.	Espesor	Kgs/m.
D	60,0	40,0	10,0	12,7
D	60,3	52,3	4,0	5,7
D		50,3	5,0	7,0
D		47,7	6,3	8,7
D		45,3	7,5	10,1
D		44,3	8,0	10,6
D		42,7	8,8	11,6
D		40,3	10,0	12,8
D		38,3	11,0	13,8
D		35,3	12,5	15,2
D		31,9	14,2	16,6
D		28,3	16,0	18,0
I	63,0	45,0	9,0	13,4
I		40,0	11,5	15,8
I		36,0	13,5	17,8
I		32,0	15,5	19,6
D	63,5	53,5	5,0	7,4
D		50,9	6,3	9,2
D		47,5	8,0	11,3
D		43,5	10,0	13,6
D		38,5	12,5	16,2
D		35,1	14,2	17,8
D	70,0	60,0	5,0	8,3
D		58,0	6,0	9,8
D		54,0	8,0	12,6
D		53,0	8,5	13,3
D		50,0	10,0	15,2
D		48,0	11,0	16,5
D		45,0	12,5	18,3
D		42,0	14,0	19,9
D		35,0	17,5	23,3

	eExt.	eInt.	Espesor	Kgs/m.
I	71,0	56,0	7,5	13,2
I		45,0	13,0	20,1
I		40,0	15,5	22,9
I		38,0	16,5	24,0
I		36,0	17,5	24,9
I	73,0	57,0	8,0	13,2
I	75,0	60,0	7,5	14,0
I		56,0	9,5	17,2
I		50,0	12,5	20,8
I		45,0	15,0	24,0
I		40,0	17,5	26,8
D	76,1	66,1	5,0	9,0
D		63,5	6,3	11,2
D		60,1	8,0	13,8
D		56,1	10,0	16,8
D		51,1	12,5	20,2
D		47,7	14,2	22,3
D		44,1	16,0	24,4
D		36,1	20,0	28,5
I	80,0	67,0	6,5	13,2
I		63,0	8,5	16,8
I		60,0	10,0	19,3
I		56,0	12,0	21,7
I		50,0	15,0	26,0
I		45,0	17,5	29,1
I		40,0	20,0	32,0
D	82,5	72,5	5,0	9,8
D		69,5	6,5	12,6
D		66,5	8,0	15,1
D		62,5	10,0	18,4
D		60,5	11,0	20,0
D		57,5	12,5	22,2
D		54,1	14,2	24,6
D		50,5	16,0	27,0
D		42,5	20,0	31,8

	eExt.	eInt.	Espesor	Kgs/m.
I	85,0	70,0	7,5	16,0
I		67,0	9,0	18,9
I		65,0	10,0	20,7
I		61,0	12,0	23,3
I		55,0	15,0	28,0
I		50,0	17,5	31,5
I		45,0	20,0	34,6
I		40,0	22,5	37,5
D	88,9	79,9	4,5	9,7
D		76,3	6,3	13,2
D		74,7	7,1	14,8
D		72,9	8,0	16,4
D		68,9	10,0	20,0
D		63,9	12,5	24,3
D		60,5	14,2	26,9
D		56,9	16,0	29,6
D		48,9	20,0	35,0
I	90,0	75,0	7,5	17,1
I		71,0	9,5	21,1
I		70,0	10,0	22,1
I		67,0	11,5	24,1
I		63,0	13,5	27,5
I		60,0	15,0	30,0
I		56,0	17,0	33,1
I		50,0	20,0	37,3
I		45,0	22,5	40,5
I	95,0	82,0	6,5	14,6
I		80,0	7,5	18,1
I		77,0	9,0	21,4
I		75,0	10,0	23,5
I		70,0	12,5	27,5
I		69,0	13,0	28,4
I		67,0	14,0	30,2
I		63,0	16,0	33,7
I		59,0	18,0	37,0
I		56,0	19,5	39,2
I		50,0	22,5	43,5
I		45,0	25,0	46,6

I = ISO
D = DIN

H.8. Cèl·lula de càrrega Magtrol ZP-S 10kN

MAGTROL

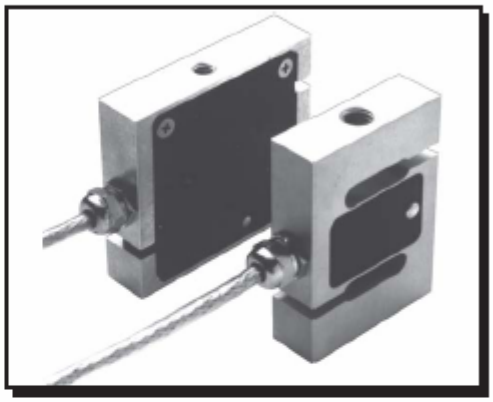
ZP-S
Data Sheet

ZP-S Series
Force Transducers

NOTE: Not available in U.S.

FEATURES

- 10 N to 50 kN
- High precision
- Low assembly dimensions
- For tensile and pressure forces
- Enclosure protection IP 42
- To 50 N with integrated overload protector



DESCRIPTION

The force transducers of the ZP-S series are designed for the measurement of static and dynamic forces and are characterised by their low dimensions at a high measuring accuracy. The force is introduced centrally through a tapped hole. A strain gauge bridge converts the elastic deformation of the S-shaped flectional body into an electrical signal that can be evaluated. Compensation and adjustment elements are used to set the required technical data. The transducers up to the construction size 50 N are manufactured in high-strength aluminium alloy, while larger sizes are made of a special stainless steel. An integrated overload fuse ensures the safe operation of the 10N, 20N and 50N construction sizes. As a standard, the transducers are equipped with a 3 m connection cable, which has free ends on the other side. The transducer can also be supplied with an integrated amplifier (model ZP-E/10 N to 2 kN, dimensions have changed). The output signals (0 to 10) V or (0/4 to 20) mA can be selected.

Specifications ZP-S

Accuracy class		0.2	0.1	0.05
Nominal force (=F_N)	N	10/20	10/20/50/100/200	50/100/200
Nominal force (=F_N)	kN		0.5/1/2/5/10/20/50	0.5/1/2/5/10/20/50
Max. permissible force/load	%F_N		150	
Ultimate overload (with overload protection)	%F_N		>500	
Ultimate overload (without overload protection)	%F_N		>300	
Max. transverse force	%F_N		10	
Reference temperature	°C		+23	
Nominal temperature range	°C		-20 to +60	
Storage temperature range	°C		-30 to +70	
Enclosure protection (DIN 40050)			IP 42	
Nominal sensitivity (=S)	mV/V		2.000 ±0.002; for 10/20/50N: 2.000 ±0.005	
Zero tolerance band	%S		≤1; for 10/20/50N: ≤10	
Max. supply voltage	V		10	
Input resistance	Ω		380 ±30	
Output resistance	Ω		352 ±3	
Insulation resistance	Ω		>5 × 10^9	
Linearity error *	%S	≤0.2	≤0.1	≤0.05 **
Width of backlash *	%S	≤0.2	≤0.1	≤0.05
TC of zero per 10 K	%S	≤0.2	≤0.1	≤0.05
TC of sensitivity per 10 K	%S	≤0.2	≤0.1	≤0.05
Zero recovery error (30 min)	%S	≤0.2	≤0.1	≤0.05
Creepage error (30 min)	%S	≤0.2	≤0.1	≤0.05

* *According to VDE / VDI 2638*

** *At 0.004 F_N is the linearity error <1 %*

PIN CONNECTIONS

Pin	To DIN
Supply voltage (+)	brown
Supply voltage (–)	yellow
Measuring voltage (+)	green
Measuring voltage (–)	white
Shield ***	black
Cable length	3 m

Note : In model ZP-E load cells, the pins for supply voltage (–) and measuring voltage (–) are interconnected internally.

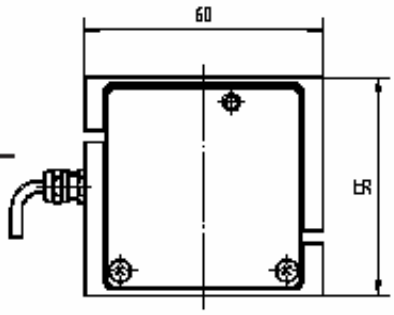
*** *Directly coupled with transducer case*

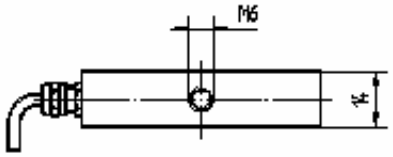
Dimensions ZP-S

ZP-S 10 N to 50 N

MODELS
Nominal force
10 N
20 N
50 N

Weight: 0.10 kg

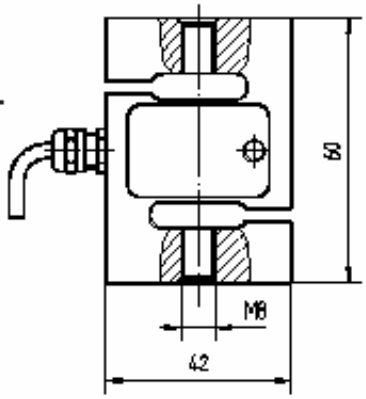


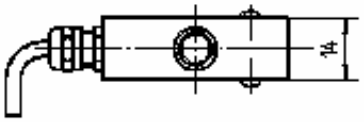


ZP-S 100 N to 2 kN

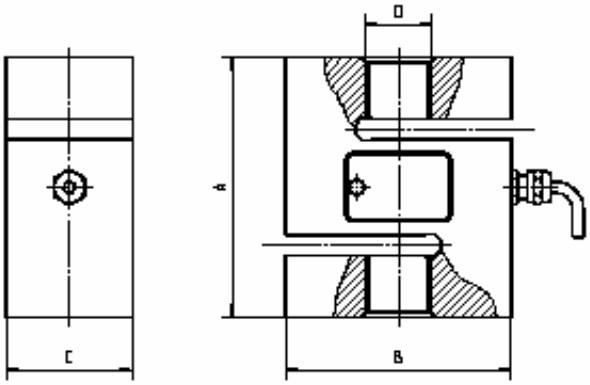
MODELS
Nominal force
100 N
200 N
0.5 kN
1 kN
2 kN

Weight: 0.25 kg





ZP-S 5 kN to 50 kN



Model	A	B	C	D	Weight
ZP-S 5 kN	70	60	26	M12	0.75 kg
ZP-S 10 kN	70	60	35	M12	1.00 kg
ZP-S 20 kN	78	68	38	M20x1.5	1.30 kg
ZP-S 50 kN	78	68	38	M24x2	1.30 kg

2 MAGTROL

Ordering Information ZP-S

ORDERING INFORMATION

Explanation of Type Code (Ordering Example)

	Type, construction	Output signal (option) 0/4) - 20 mA or 0 - 10 V	Nominal force Nominal load	Accuracy class	
for Force Transducers	ZP-S		10 N	0.2	= ZP-S / 10 N / 0.2
for Force Transducers with integrated amplifier	ZP	E	1 kN	0.1	= ZP-E / 1 kN / 0.1

ORDERING INFORMATION FOR MECHANICAL ACCESSORIES

ZP-S 10 N to 2 kN

AM 029	Force introduction calotte A6-16 for ZP-S 10 N to 50 N
AM 040	Force introduction calotte A8-16 for ZP-S 100 N to 2 kN
AA 6	Flexible head (external screw thread) with counter nut for ZP-S 10 N to 50 N
AA 8	Flexible head (external screw thread) with counter nut for ZP-S 100 N to 2 kN

ZP-S 5 kN to 50 kN

AM 019	Force introduction calotte A12-50 for ZP-S 5 kN to 10 kN
AM 043	Force introduction calotte A20-50 for ZP-S 20 kN
AM 017	Force introduction calotte A24-50 for ZP-S 50 kN
AA 12	Flexible head (external screw thread) with counter nut for ZP-S 5 kN to 10 kN
AA 20	Flexible head (external screw thread) with counter nut for ZP-S 20 kN
AA 25	Flexible head (external screw thread) with counter nut for ZP-S 50 kN

SYSTEM OPTIONS

Model No.	Product Description	Ordering Number
LMU 112	Load monitoring unit containing 2 level detectors, 1 current and 1 voltage O/Ps	224-112-000-XXX
LMU 116	Load monitoring unit containing 4 level detectors, taring and 4 summer functions	224-116-000-XXX
LMU 117	Dual channel load monitoring unit (2 × LMU 112)	224-117-000-XXX
AN 2000 C	Digital process monitor for strain gauge transducers	AN 2000 C /X/X/XX/XX/X

Due to the continual development of our products, we reserve the right to modify specifications without forewarning.

www.magtrol.com

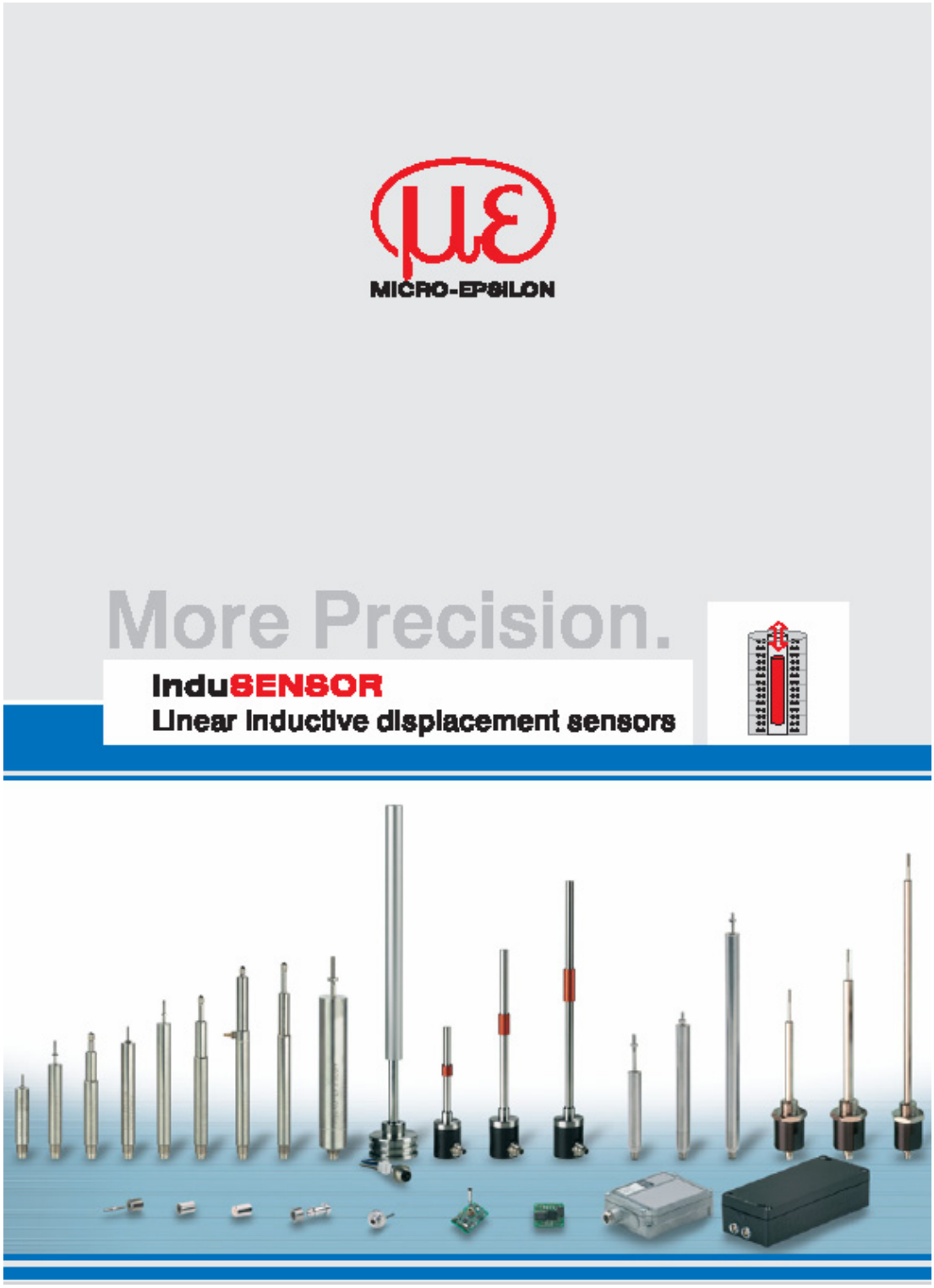
MAGTROL INC
70 Gardenville Parkway
Buffalo, New York 14224 USA
Phone: +1 716 668 5555
Fax: +1 716 668 8705
E-mail: magtrol@magtrol.com

MAGTROL SA
Centre technologique Montena
1728 Rossens/Fribourg, Switzerland
Phone: +41 (0)26 407 3000
Fax: +41 (0)26 407 3001
E-mail: magtrol@magtrol.ch

Subsidiaries in:
- Germany
- France
- Great Britain
- China

Worldwide Network of Sales Agents

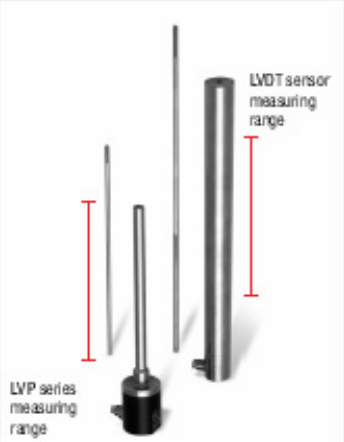
H.9. Sensor de desplaçament LVDT Micro Epsilon LVP-200



20

Series LVP DC: Inductive sensors with measuring plunger and integrated electronics

- No wear and no maintenance
- Integrated microelectronics
- Compact design - short installed length
- Shielded against EMI
- For use in difficult ambient conditions

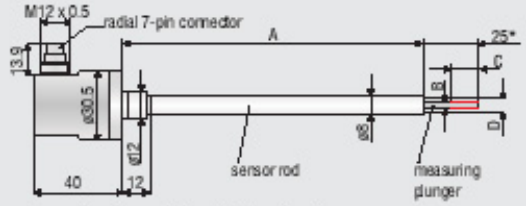


Comparison of the installed length of the LVP sensor with a conventional LVDT sensor

Comparison of the installed length of the LVP sensor with a conventional LVDT sensor

An important advantage of the LVP measuring technique lies in the short length of the installed sensor. This difference in lengths becomes clear in a direct comparison with an LVDT sensor.

LVP series **housing version -ZA-**



* measuring plunger start position l_w = 4 mA

Measuring range	A	B	C	D
50	77	M2	10	4
100	138	M3	12	4
200	261	M3	12	4

All data in mm

21

Model		LVP-50	LVP-100	LVP-200
Measuring range		50 mm	100 mm	200 mm
Linearity	standard ±0.5 % FSO	0.25 mm	0.5 mm	1.0 mm
	option ±0.25 % FSO	0.125 mm	0.25 mm	-
Resolution	<0.03 % FSO	0.015 mm	0.03 mm	0.06 mm
Temperature range		-40 °C ... +85 °C		
Temperature stability	zero	±50 ppm / °C		
	sensitivity	±150 ppm / °C		
Frequency response (-3 dB)		300 Hz		
Output		4 - 20 mA		
Output load		≤500 Ohm		
Power supply		18 - 30 VDC		
Current consumption		max. 40 mA		
Protection class		IP 67		
Electromagnetic compatibility (EMC)		EN 50 081-2 spurious emission EN 50 082-2 interference immunity		
Shock[1]	IEC 68-2-29 / IEC 68-2-27	40 g, 3000 shocks / axis; 100 g radial, 300 g axial		
Vibration	IEC 68-2-6	5 Hz ... 44 Hz ± 2.5 mm; 44 Hz ... 500 Hz ±20 g		

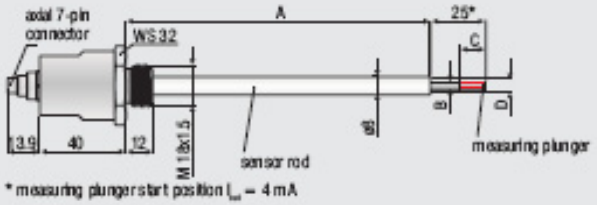
FSO = Full Scale Output
1) Half sinusoid 6 ms

Article

LVP - **50** - **ZA** - **2.5** - **SR7** - I

- Electrical output
  - SA7 = connector, axial (housing version GA)
  - SR7 = connector, radial (housing version ZA)
- Linearity: 5 = 0.5 % FSO; 2.5 = 0.25 % FSO
- ZA = housing, cylindrical (standard); GA = housing, threaded (option)
- measuring range in mm

LVP series housing version -GA- (option)



* measuring plunger start position I_{out} = 4 mA

H.10. Sensor de temperatura RDT MINCO S100725

Thermal-Tab™ and Thermal-Ribbon™ Sensors

Install these compact sensors anywhere for accurate point sensing and fast response. All Thermal-Tab modules use a thin-film RTD element. All Thermal-Ribbon models conform to EN60751 Class B tolerance when ordered with a PD platinum element.

- Fast response surface sensing in aerospace, medical and industrial devices
- Rugged lamination construction
- Polyimide, silicone rubber or Mylar™ insulation

Thermal-Tab Specifications

Dimensions W x L x T_{max}	Element options	Insulation	Temperature range	Leadwires	Time constant*	Features	Model
0.20 x 0.50 x 0.08" (5 x 12 x 2 mm)	PD, PF, PW	Polyimide with elastomer cover coat	-50 to 155°C -58 to 311°F	AWG 26, PTFE insulated	0.8 sec.	Stocked for immediate shipment	S665
0.20 x 0.60 x 0.08" (5 x 15 x 2 mm)	PD, PF, PW, PS, NB, NA, NJ	Polyimide	-50 to 200°C -58 to 392°F	AWG 26, PTFE or polyimide insulated	1.0 sec.	Platinum models in stock	S17624
0.20 x 0.60 x 0.08" (5 x 15 x 2 mm)	PD, PF, PW, PS	Polyimide film	-50 to 260°C -58 to 500°F	AWG 26, PTFE or polyimide insulated	0.4 sec.	Highest temperature capability	S100820
0.20 x 0.60 x 0.12" (5 x 15 x 3 mm)	PD, PF, PW	Silicone rubber with elastomer cover and foil backing	-50 to 155°C -58 to 311°F	AWG 24, Silicone insulated	1.3 sec.	Waterproof; suitable for continuous immersion	S667
0.20 x 0.60 x 0.045" (5 x 15 x 1.15 mm)	PD, PF, PW	Polyimide film	-50 to 200°C -58 to 392°F	AWG 26, PTFE or polyimide insulated	0.6 sec.	Thinnest profile	S100725
0.30 x 0.60 x 0.10" (7 x 15 x 2.5 mm)	PD, PF, PW, PS, NB, NA, NJ	Polyimide film	-50 to 200°C -58 to 392°F	AWG 22, PTFE or polyimide insulated	1.2 sec.	Heavier leadwire for applications requiring ruggedized design	S100724
0.40 x 0.80 x 0.08" (10 x 20 x 2 mm)	PD, PF, PW, PS, NB, NA, NJ	Polyimide film	-50 to 200°C -58 to 392°F	AWG 26, PTFE or polyimide insulated	0.9 sec.	Larger surface area for easier handling and maximum adhesive bond	S100723
0.40 x 0.80 x 0.08" (10 x 20 x 2 mm)	PD, PF, PW, PS, NB, NA, NJ	Silicone rubber	-50 to 220°C -58 to 428°F	AWG 26, PTFE or polyimide insulated	1.5 sec.	High temperature rating, available with wide range of element options	S100721

Thermal-Ribbon Specifications

0.20 x 1.50 x 0.030" (5.1 x 38.1 x 0.8 mm)	FA	Polyimide	-200 to 200°C -328 to 392°F	AWG 34, PTFE insulated	0.15 sec.	Wire-wound nickel-iron for high resistance in small package	S38
0.30 x 0.30 x 0.025" (7.6 x 7.6 x 0.7 mm)	PD, PE	Polyimide with foil backing	-200 to 200°C -328 to 392°F	AWG 28, PTFE insulated	0.15 sec.	Wire-wound element	S651
0.75 x 0.75 x 0.04" (19 x 19 x 1.0 mm	FA	Mylar	-200 to 150°C -328 to 302°F	AWG 30, PTFE insulated	0.3 sec.	Wire-wound nickel-iron flat element for high resistance	S25

Notes: T_{max} is measured over the lead bulge.
**Time constant is in water at 1 m/sec*

Specifications subject to change

Access: Minco Sales and Support | Americas: 763.571.3121 | Europe: (33) 5 61 03 24 01 | Asia Pacific: (65) 6511 3388

Specifications, continued

Leadwire insulation codes	
S25, S38, S651, S665, S667	Leave blank
S17624, S100721, S100723, S100724, S100725, S100820	T = PTFE insulated wires K = Polyimide insulated wires

Sensing elements

Sensing element specifications**		Code
Platinum (0.00385 TCR) (EN60751, Class B)	100 Ω ±0.12% at 0°C	PD
Platinum (0.00385 TCR)	100 Ω ±0.36% at 0°C	PE
Platinum (0.00385 TCR)	1000 Ω ±0.12% at 0°C	PF
Platinum (0.00375 TCR)	1000 Ω ±0.12% at 0°C	PW
Platinum (0.00385 TCR)	10,000 Ω ±0.12% at 0°C	PS
Nickel-iron (0.00518 TCR)	604 Ω ±0.26% at 0°C	FA
Nickel (0.00618 TCR) (DIN43760 NI100, Class B)	100 Ω ±0.22% at 0°C	NB
Nickel (0.00672 TCR)	120 Ω ±0.50% at 0°C	NA
Nickel (0.00618 TCR) (DIN43760 NI1000, Class B)	1,000 Ω ±0.22% at 0°C	NJ

*** See table on previous page for element options on each model*

Specification and order options

S17624	Model number from table
PD	Sensing element from table
Z	Number of leads: Y = 2 leads Z = 3 leads (N/A on S25, S38) X = 4 leads (N/A on S25, S38 or S665/S667)
T	Leadwire insulation code from table at left
24	Lead length in inches: S665/S667: 60" max.
A	Adhesive backing: A = No adhesive B = Pressure-sensitive adhesive (PSA)
N	Compliancy: C = RoHS compliant N = RoHS non-compliant
S17624PDZT24AN = Sample part number	

Notes: PSA reduces temperature range to -20 to 177°C (-4 to 350°F) and adds 0.005" (0.1 mm) to thickness.

Specify and order products at:
www.minco.com/sensors_config

Waterproof model

Model S667 is waterproof and suitable for continuous immersion. Use it to monitor the temperature of water in a tank or container, or on equipment that must withstand wash-down or immersion.

Check with Minco for suitability in other liquids.

Custom Thermal-Ribbon designs

Minco can custom-wind Thermal-Ribbon elements in virtually any shape and size. We can profile sensing elements to provide increased sensitivity in selected zones, and provide packaging to perfectly fit your applications.

Contact Access: Minco Sales and Support today to discuss your application.

Specifications subject to change