

ANEXO

Anexo 1: Propiedades de materiales para árboles

Tabla A1
Propiedades de materiales para árboles. Fuente: [3]

ACEROS COMERCIALES PARA ÁRBOLES													
	σB (N/mm ²)		σF (N/mm ²)		tracc.-comp. σPul (N/mm ²)		flexión σfPul (N/mm ²)		torsión τfAlt (N/mm ²)		E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	Propiedades y ejemplos de aplicación
	σB (N/mm ²)	σF (N/mm ²)	σPul (N/mm ²)	σAlt (N/mm ²)	σfPul (N/mm ²)	σfAlt (N/mm ²)	τfPul (N/mm ²)	τfAlt (N/mm ²)					
BOHLER													
AISI 1018 DIN CK15	500 A 620	300	300	230	420	250	180	150	2,1·10 ⁵	8·10 ⁴	8·10 ⁴	8·10 ⁴	Pernos y clavijas o pasadores de mediana resistencia así como palancas y ruedas grandes.
AISI 4340H DIN 34CrNiMo6	1000 A 1200	800	780	450	880	500	460	290	2,1·10 ⁵	8·10 ⁴	8·10 ⁴	8·10 ⁴	Para piezas con alta tenacidad para mecanismos de accionamiento o propulsión bajo cargas altas.
AISI 4140 DIN 42CrMo4	1000 A 1200	700	700	400	770	450	400	260	2,1·10 ⁵	8·10 ⁴	8·10 ⁴	8·10 ⁴	Muy adecuado para piezas grandes forjadas.
AISI 1045 DIN CK45	650 A 800	390	390	290	530	350	210	170	2,1·10 ⁵	8·10 ⁴	8·10 ⁴	8·10 ⁴	Ejes y árboles con cargas altas y resistentes al desgaste, pernos, gorriones o pasadores de eje.
ACEROS DEL PERÚ													
AISI 1020 DIN C22	500 A 600	300	280	210	350	250	160	140	2,1·10 ⁵	8·10 ⁴	8·10 ⁴	8·10 ⁴	Elementos de construcción pequeños resistentes al desgaste.
AISI 4140 DIN 42CrMo4 H	1000 A 1200	700	700	400	770	450	400	260	2,1·10 ⁵	8·10 ⁴	8·10 ⁴	8·10 ⁴	Muy adecuado para piezas grandes forjadas.
AISI 1045 DIN C45	650 A 800	390	390	290	530	350	210	170	2,1·10 ⁵	8·10 ⁴	8·10 ⁴	8·10 ⁴	Ejes y árboles con cargas altas y resistentes al desgaste, pernos, gorriones o pasadores de eje.

Anexo 2: Coeficientes de fatiga

Cs: coeficiente por acabado superficial, según [9]

Tabla A2

Parámetros para el cálculo de Cs con Ra y Rz según DIN4768. Fuente: [9]

Proceso de Fabricación	Ra	Rz	Rt	σ_B N/mm ²				
				400	600	800	1000	1200
Rectificado	0.8	3.15	3.15	0.9	0.95	0.95	0.96	0.98
Rectificado	1.6	6.3	6.3	0.9	0.9	0.9	0.94	0.96
Torneado Fino	3.2	12.5	12.5	0.8	0.85	0.86	0.9	0.94

Ct: coeficiente por tamaño (diámetro de la sección) según [14]

$$C_t = \begin{cases} 0.879 \cdot d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ 0.91 \cdot d^{-0.157} & 2 \leq d \leq 10 \text{ in} \\ 1.24 \cdot d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51 \cdot d^{-0.157} & 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Ctemp: coeficiente por temperatura (del árbol durante el trabajo), según [14]

$$C_{temp} = 0.975 + 0.432 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0.115 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0.104 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 0.595 \cdot 10^{-12} \cdot T^4$$

$$70 \leq T \leq 1000 \text{ }^\circ\text{F}$$

Ccarg: coeficiente de carga es igual a la unidad (1) para flexión y torsión, según [20]

$$C_{carg} = \begin{cases} 1 & \text{Flexión} \\ 1 & \text{Torsión} \end{cases}$$

Cc: coeficiente de confiabilidad, se tomará un 95% de confiabilidad por lo que se tendrá igual a la unidad (1), según [14]

$$C_c = 0.868$$

Anexo 3: Factor geométrico α_k y efectivo β_k de concentración de esfuerzos

Anexo 3.1: Gráficos de concentradores de esfuerzos

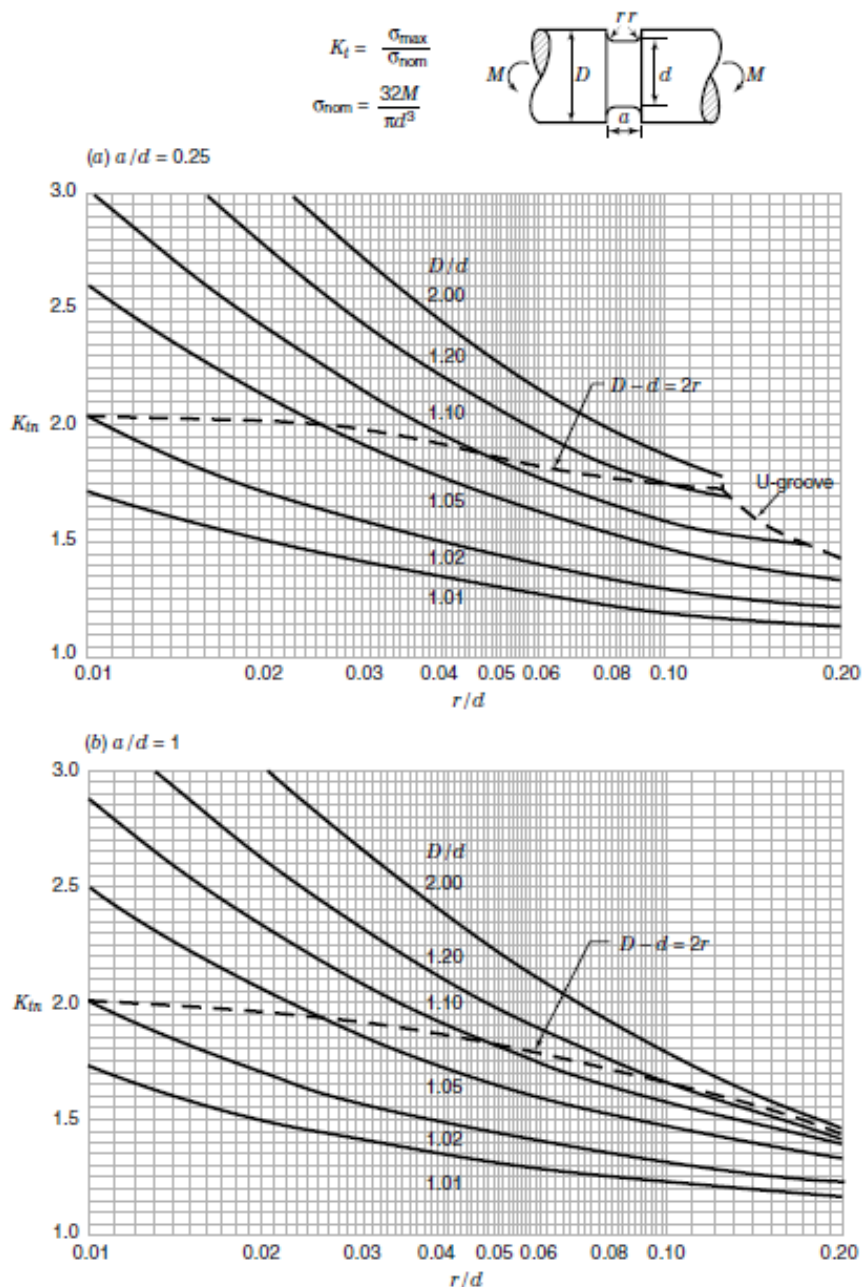


Figura A3-1

Factor geométrico de concentración de esfuerzos para flexión en barra circular con canal plano $\alpha_n (K_{tn})$: (a) $a/d=0.25$; (b) $a/d=1.0$. Fuente: [21]

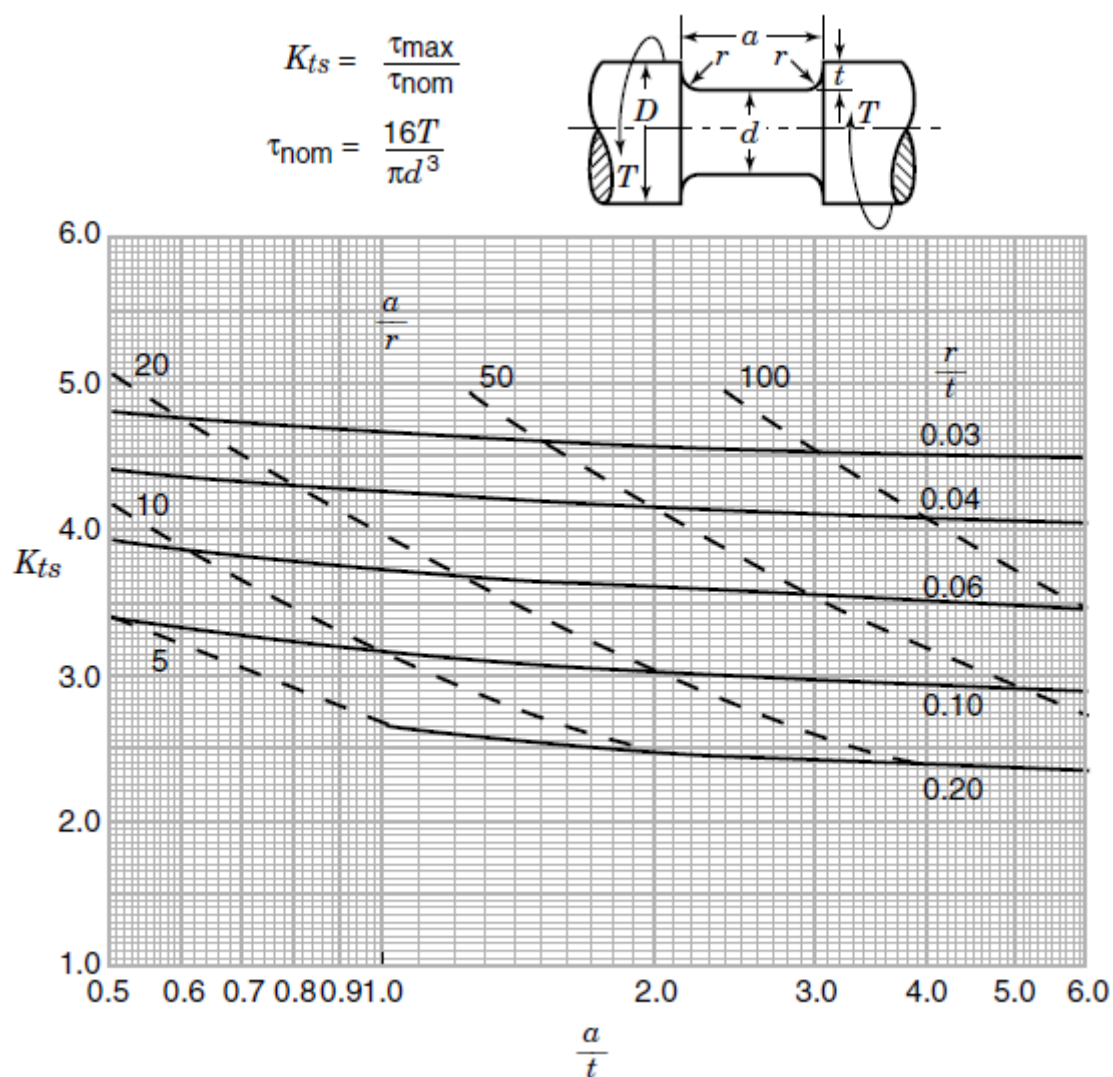


Figura A3-2

Factor geométrico de concentración de esfuerzos para torsión en barra circular con canal plano α_t (K_{ts}). Fuente: [21]

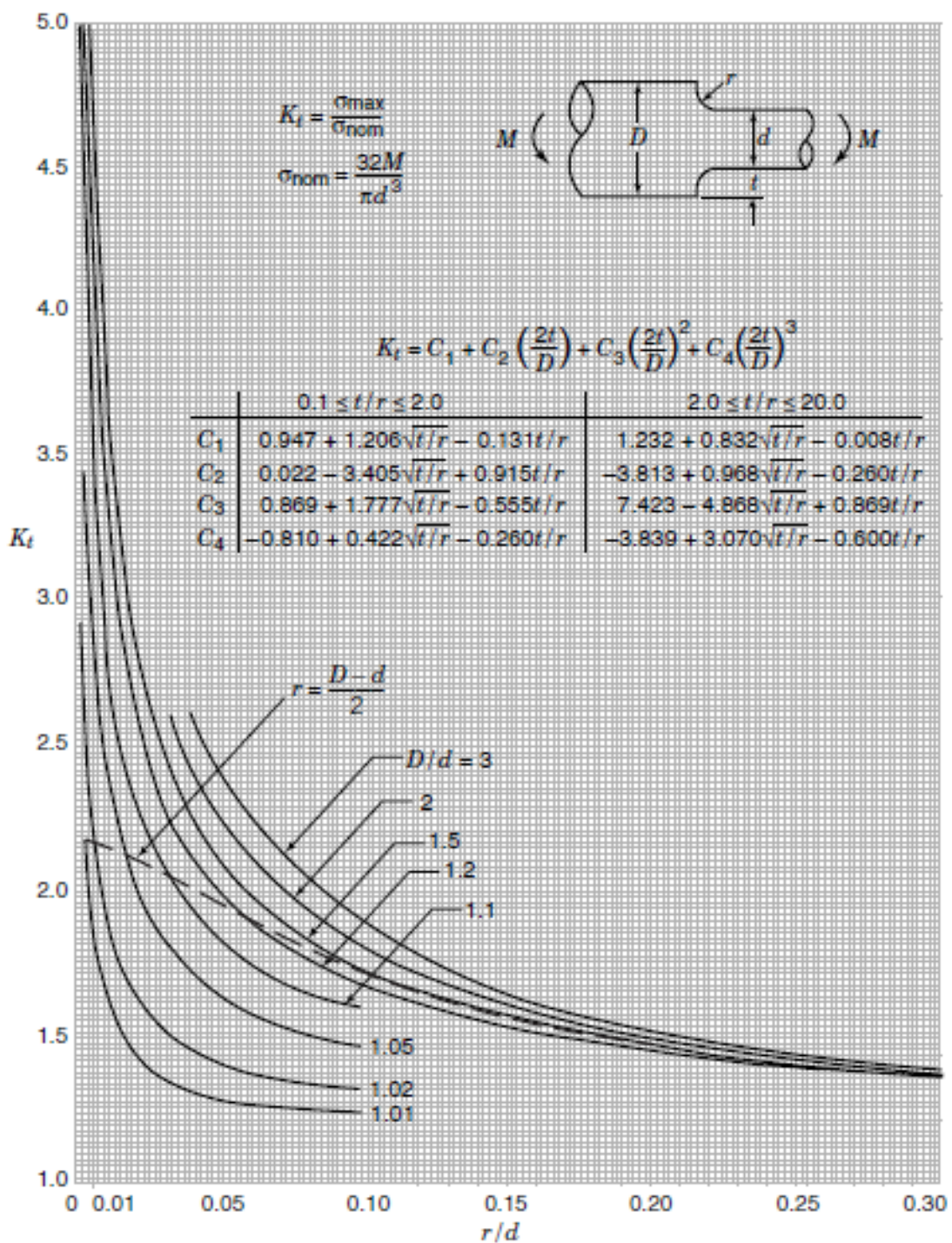


Figura A3-3

Factor geométrico de concentración de esfuerzos para flexión en barra circular con resalte α_n (K_t). Fuente: [21]

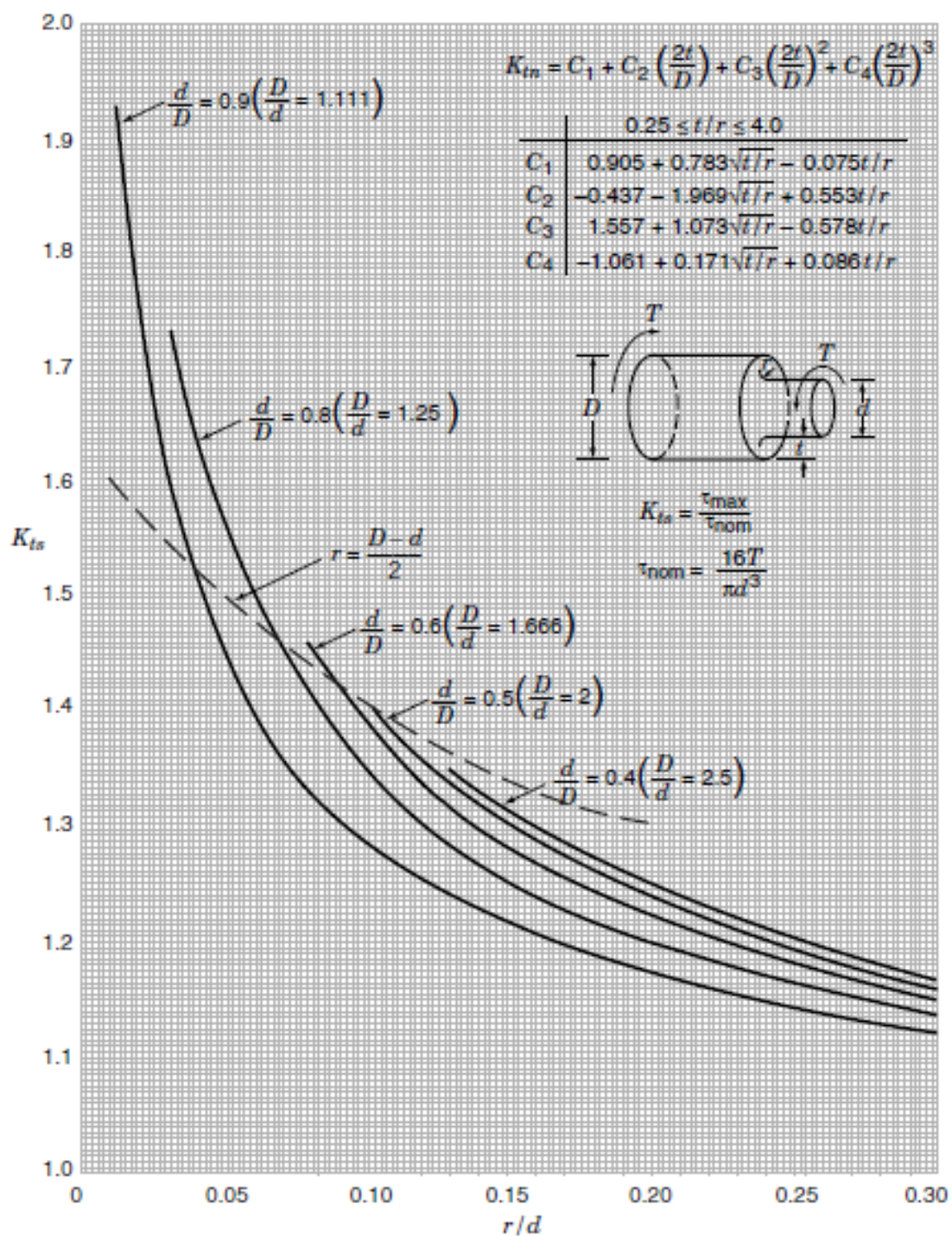


Figura A3-4

Factor geométrico de concentración de esfuerzos para torsión en barra circular con resalte: K_{ts} . Fuente: [21]

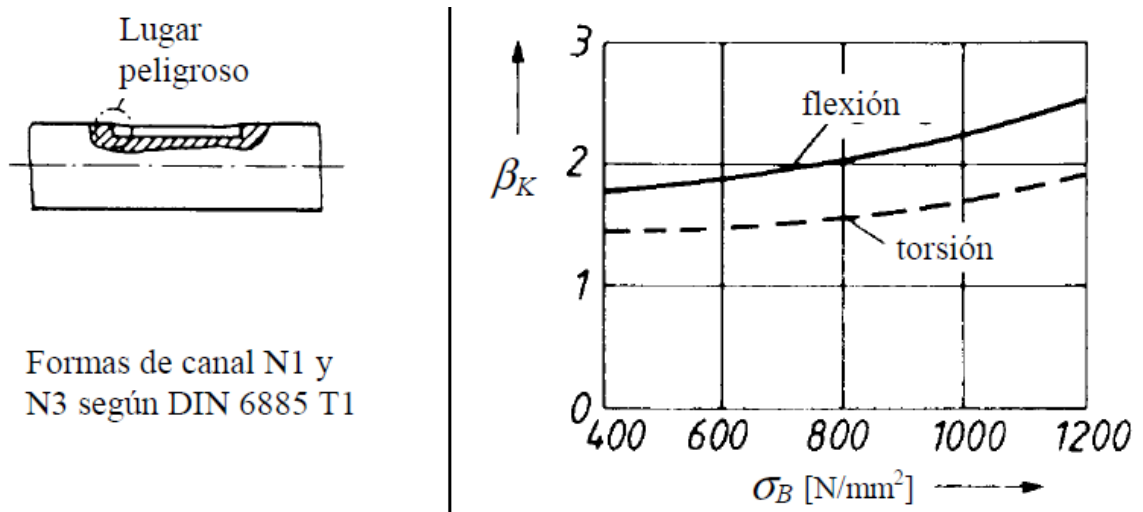


Figura A3-5

Factor efectivo de concentración de esfuerzos para flexión y torsión en barra circular con canal chavetero DIN 6885 Forma N1: β_k . Fuente: [15]

Anexo 3.2: Ecuaciones factores geométricos y efectivo de concentrados de esfuerzos

Canal plano:

D/d	r/d	función
1.05	0.014-0.3	$y = 3.5894802 - 45.943737 * x + 465.56938 * x^2 - 2474.2428 * x^3 + 6493.7235 * x^4 - 6652.3821 * x^5$
1.1	0.022-0.3	$y = 3.8384568 - 48.853785 * x + 494.74933 * x^2 - 2653.4112 * x^3 + 7038.3828 * x^4 - 7286.8899 * x^5$
1.2	0.03-0.3	$y = 0.37732506 - 1.2939048 * \ln(x) - 0.48490909 * \ln(x)^2 - 0.097691986 * \ln(x)^3$
1.3	0.04-0.3	$y = 0.27172294 - 1.5439892 * \ln(x) - 0.66258222 * \ln(x)^2 - 0.14055308 * \ln(x)^3$
1.5	0.042-0.3	$y = 0.32818678 - 1.4527223 * \ln(x) - 0.61117729 * \ln(x)^2 - 0.13478479 * \ln(x)^3$
2	0.046-0.3	$y = 0.30037552 - 1.5559224 * \ln(x) - 0.68042628 * \ln(x)^2 - 0.15084112 * \ln(x)^3$
1.05	0.008-0.3	$y = \exp(0.13310442 + 0.00012738202 * \ln(x) + 0.036238202 * \ln(x)^2)$
1.1	0.01-0.3	$y = 0.99503728 - 0.25061722 * \ln(x) - 0.087706871 * \ln(x)^2 - 0.0277685 * \ln(x)^3$
1.2	0.018-0.3	$y = 1.0212343 - 0.20417182 * \ln(x) - 0.053219079 * \ln(x)^2 - 0.024256178 * \ln(x)^3$
1.3	0.02-0.2	$y = -0.62103281 - 4.007331 * \ln(x) - 3.49922289 * \ln(x)^2 - 1.5541481 * \ln(x)^3 - 0.33073553 * \ln(x)^4 - 0.027846184 * \ln(x)^5$
1.5	0.042-0.14	$y = 1.3435892 + 0.19129708 * \ln(x) + 0.12232728 * \ln(x)^2$
2	0.016-0.3	$y = 4.3379587 - 121.42086 * x + 2462.1968 * x^2 - 27984.564 * x^3 + 184181.49 * x^4 - 695976.46 * x^5 + 1398687.1 * x^6 - 1156799.6 * x^7$

Cuadro A3-1

Factor geométrico de concentración de esfuerzos para flexión y torsión en barra circular con canal plano: Fuente: [Adaptado de 21a]

Resalte:

D/d	r/d	función
1.01	0.002-0.1	$y = \exp(0.43901532 + 0.2113764 \cdot \ln(x) + 0.049473448 \cdot \ln(x)^2)$
1.02	0.001-0.1	$y = 1.6599421 + 0.3618471 \cdot \ln(x) + 0.092698539 \cdot \ln(x)^2$
1.05	0.002-0.1	$y = 1.5628177 + 0.28468604 \cdot \ln(x) + 0.10421274 \cdot \ln(x)^2$
1.1	0.001-0.1	$y = 6.2702686 + 5.8960096 \cdot \ln(x) + 2.5855137 \cdot \ln(x)^2 + 0.46729574 \cdot \ln(x)^3 + 0.032216801 \cdot \ln(x)^4$
1.2	0.002-0.3	$y = 5.8364932 - 338.68564 \cdot x + 14094.545 \cdot x^2 - 339813.88 \cdot x^3 + 5043306.8 \cdot x^4 - 47960558 \cdot x^5 + 2.9734192e+008 \cdot x^6 - 1.1943495e+009 \cdot x^7 + 2.9935781e+009 \cdot x^8 - 4.2520853e+009 \cdot x^9 + 2.6120824e+009 \cdot x^{10}$
1.5	0.004-0.3	$y = 6.4556636 - 367.35258 \cdot x + 14768.211 \cdot x^2 - 347684.91 \cdot x^3 + 5069980.2 \cdot x^4 - 47560745 \cdot x^5 + 2.9169253e+008 \cdot x^6 - 1.1614871e+009 \cdot x^7 + 2.8904172e+009 \cdot x^8 - 4.080896e+009 \cdot x^9 + 2.4939674e+009 \cdot x^{10}$
2	0.032-0.3	$y = 1.2650111 + 0.079909166 \cdot \ln(x) + 0.13795366 \cdot \ln(x)^2$
3	0.04-0.3	$y = 1.3158268 + 0.16004797 \cdot \ln(x) + 0.17842762 \cdot \ln(x)^2$
1.111	0.012-0.3	$y = 2.2283155 - 30.426097 \cdot x + 436.81521 \cdot x^2 - 3493.0454 \cdot x^3 + 15450.818 \cdot x^4 - 35335.193 \cdot x^5 + 32558.835 \cdot x^6$
1.25	0.032-0.3	$y = 2.1790464 - 19.880583 \cdot x + 210.72692 \cdot x^2 - 1397.5994 \cdot x^3 + 5565.1058 \cdot x^4 - 12019.287 \cdot x^5 + 10725.365 \cdot x^6$
1.666	0.08-0.3	$y = 0.88652217 - 0.3054095 \cdot \ln(x) - 0.11460075 \cdot \ln(x)^2 - 0.033108664 \cdot \ln(x)^3$
2	0.102-0.3	$y = 0.87389054 - 0.30092353 \cdot \ln(x) - 0.085620254 \cdot \ln(x)^2 - 0.023875924 \cdot \ln(x)^3$
2.5	0.13-0.3	$y = 0.95780055 - 0.14771913 \cdot \ln(x) + 0.021081222 \cdot \ln(x)^2$

Cuadro A3-2

Factor geométrico de concentración de esfuerzos para flexión y torsión en barra circular con resalte. Fuente: [Adaptado de 21a]

Canal chavetero:

	rango: σ (N/mm ²)	función
flexion - βKt	400-1200	$y = 1.6923439 + 3.3470968e-005 * x + 3.6268895e-007 * x^2 + 1.6996476e-010 * x^3$
torsion - βKts	400-1200	$y = 1.4457262 - 0.00013425106 * x + 1.140791e-007 * x^2 + 2.8191967e-010 * x^3$

Cuadro A3-3

Factor efectivo de concentración de esfuerzos para flexión y torsión en barra circular con canal chavetero DIN 6885 Forma N1: βk .
Fuente: [Adaptado de 14]



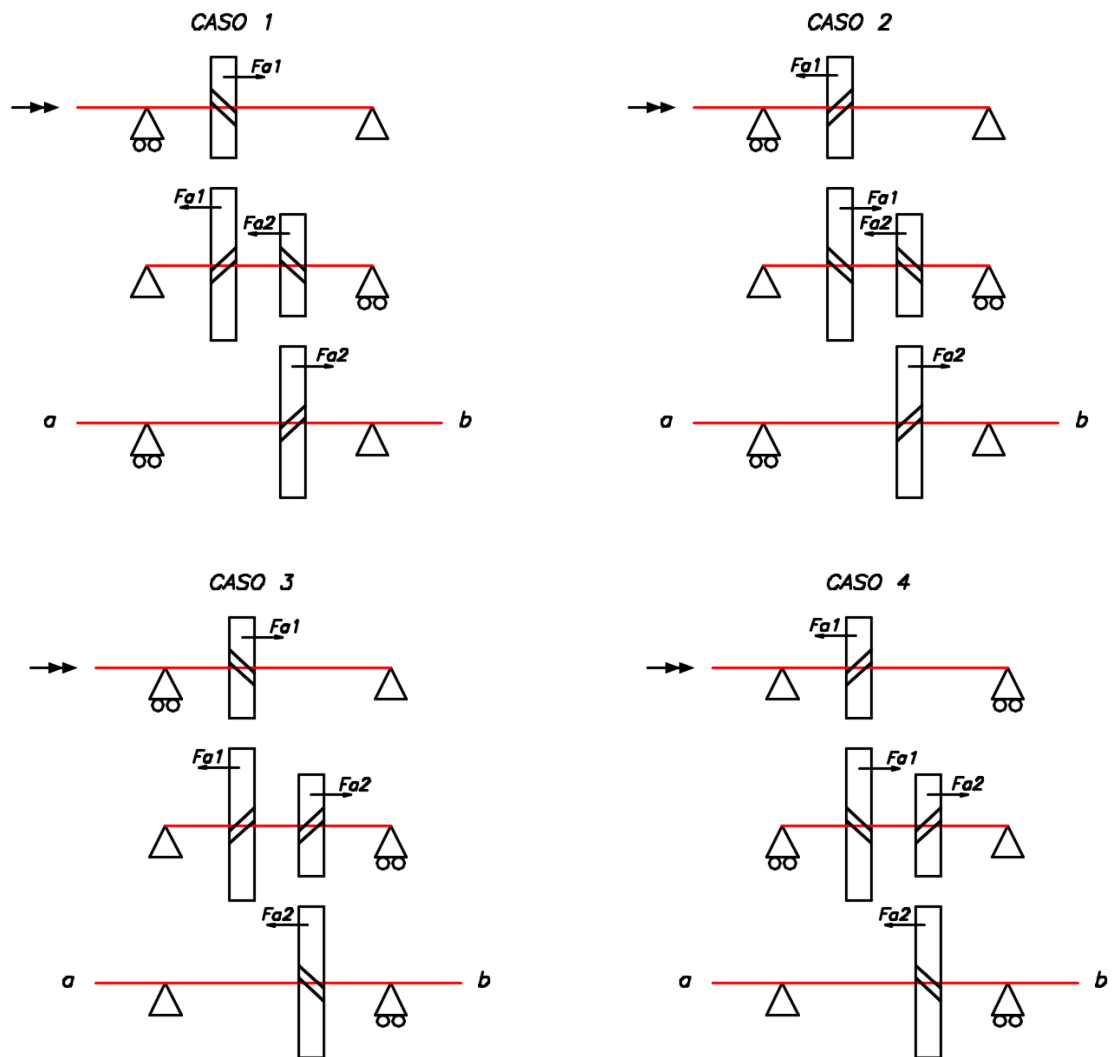
Anexo 4: Esquemas de árboles con engranes y sus fuerzas axiales

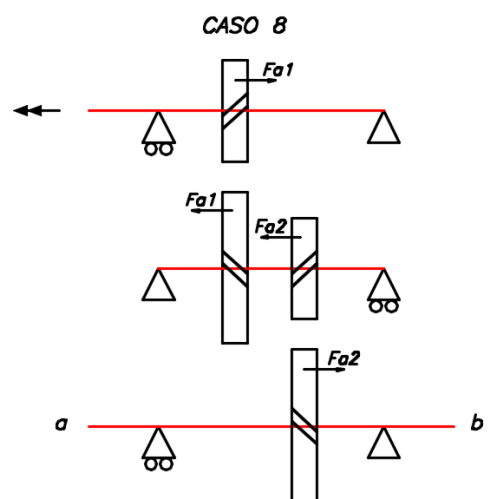
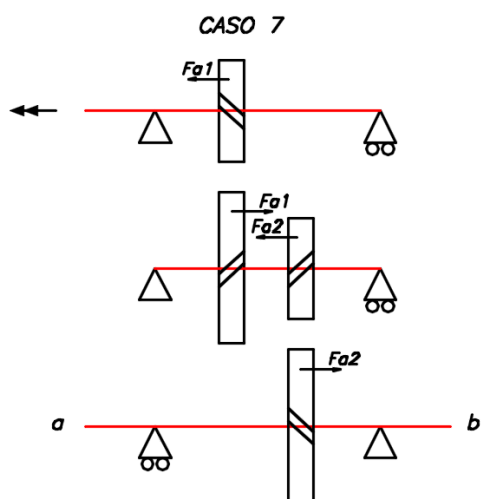
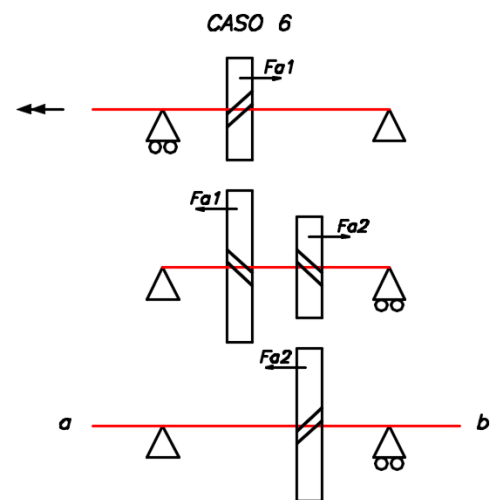
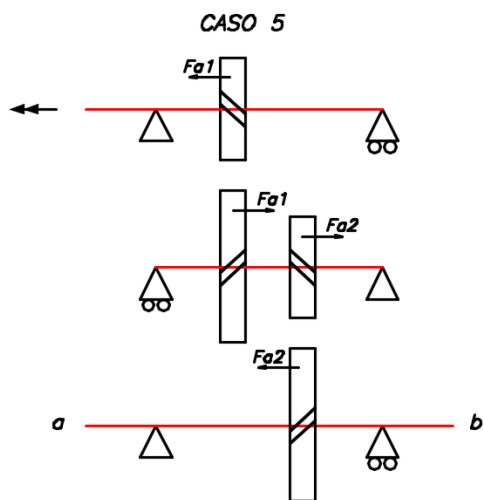
Las imágenes que se muestran en este anexo son de fuente propia.

Anexo 4.1: Todos los casos analizados

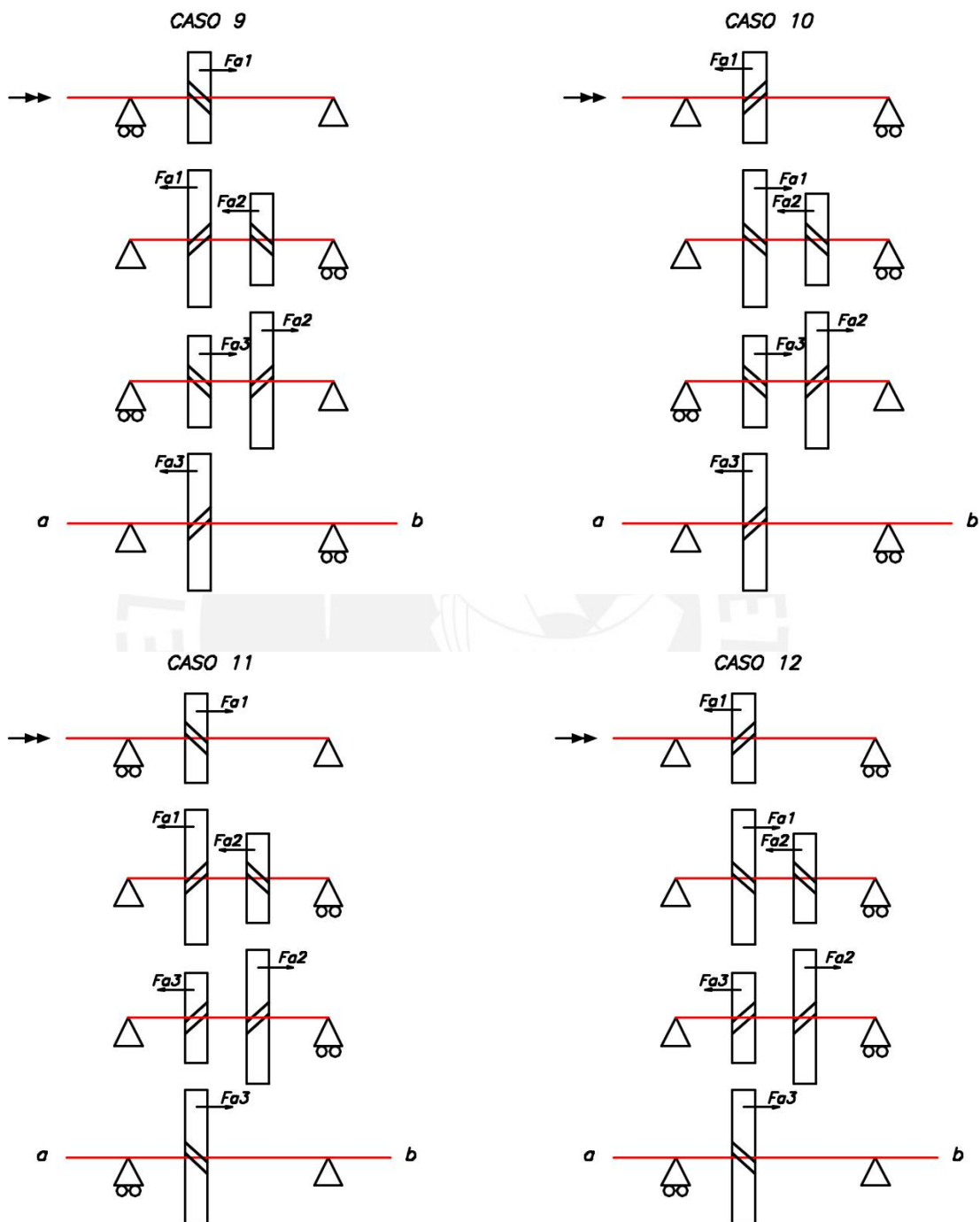
Engranés cilíndricos helicoidales

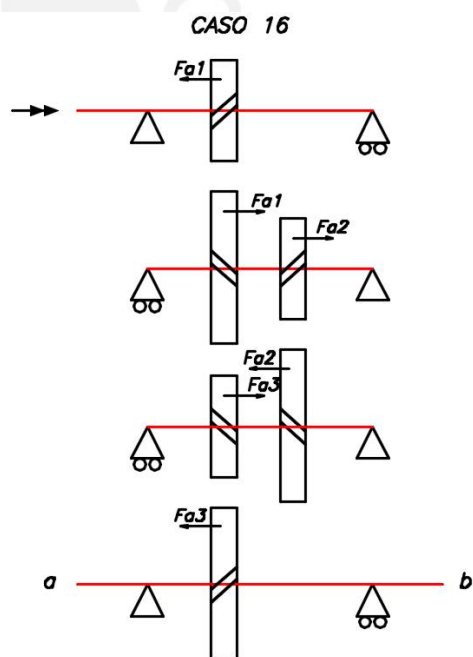
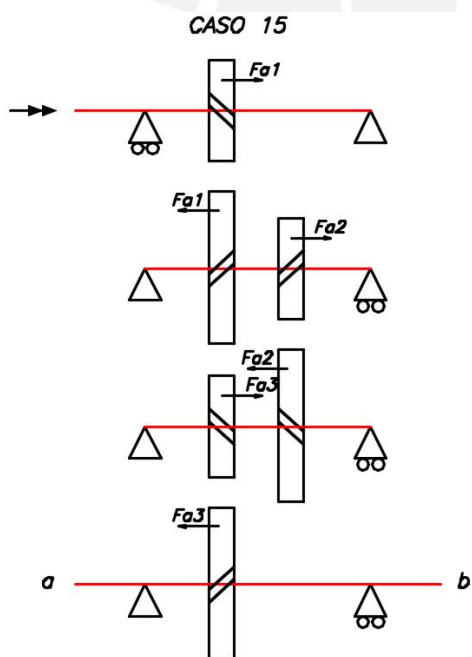
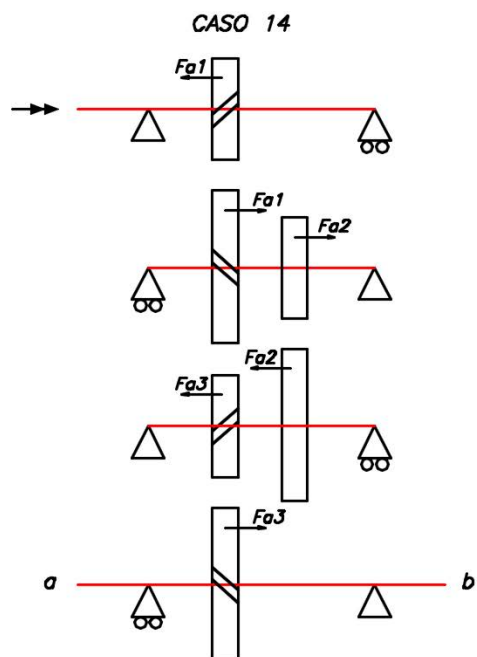
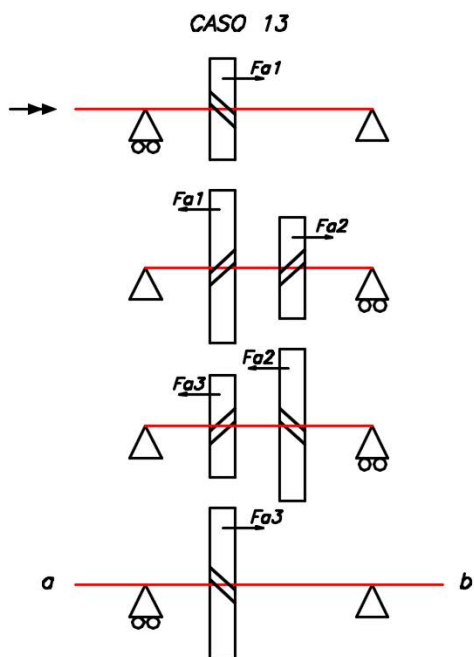
2 Etapas



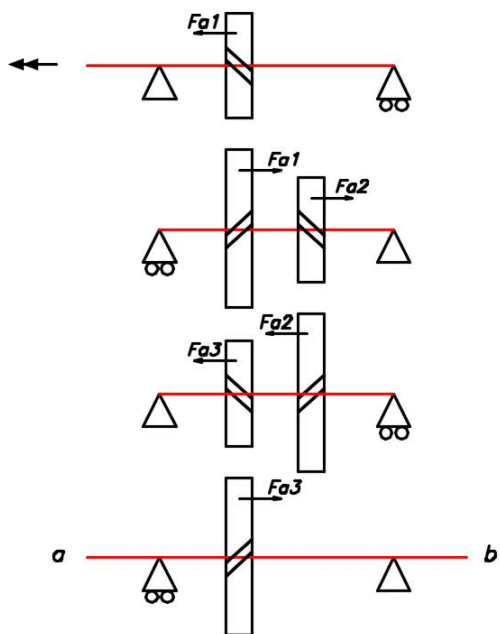


3 Etapas

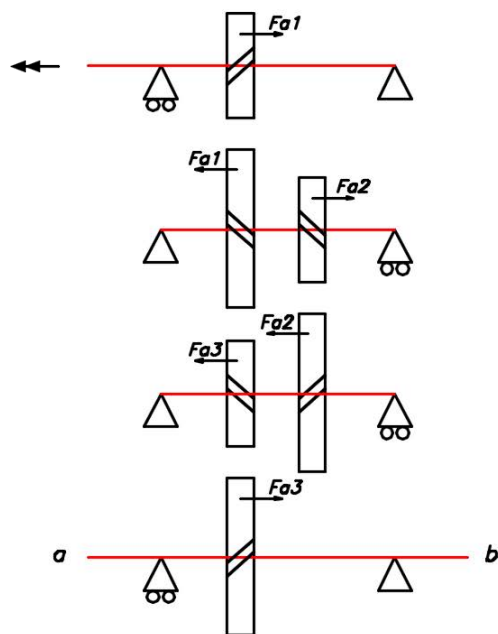




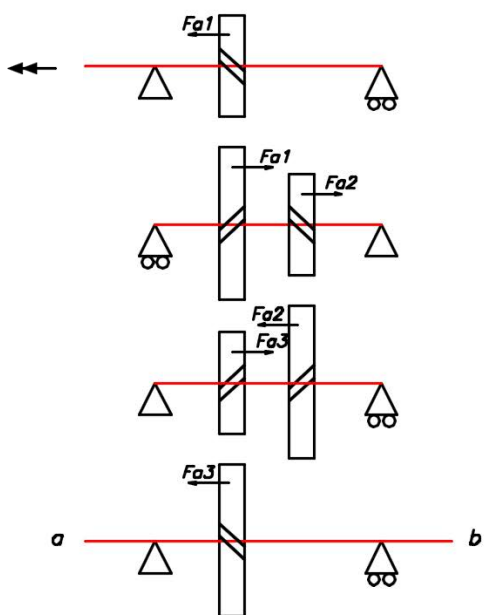
CASO 17



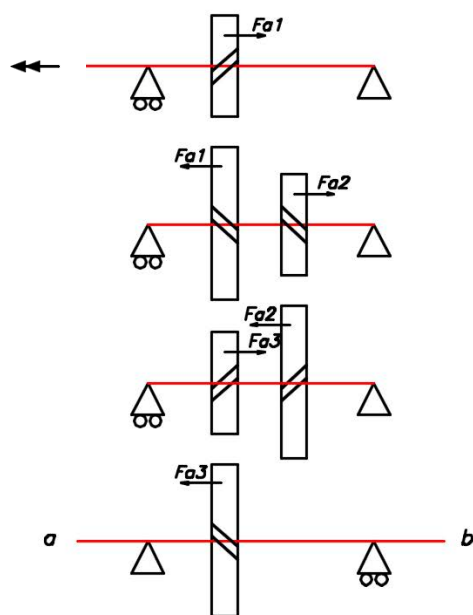
CASO 18

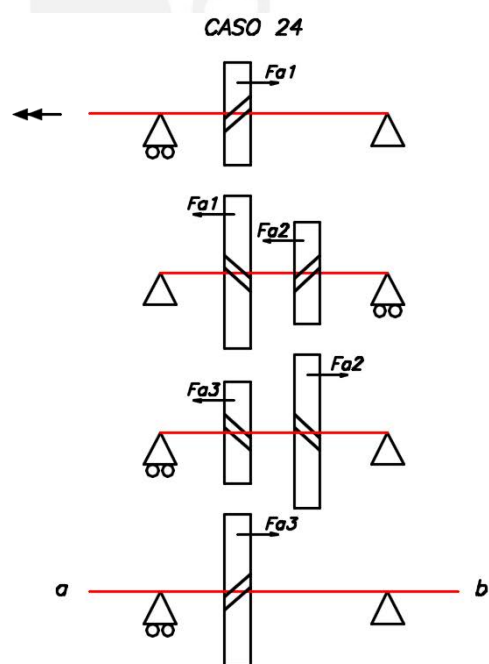
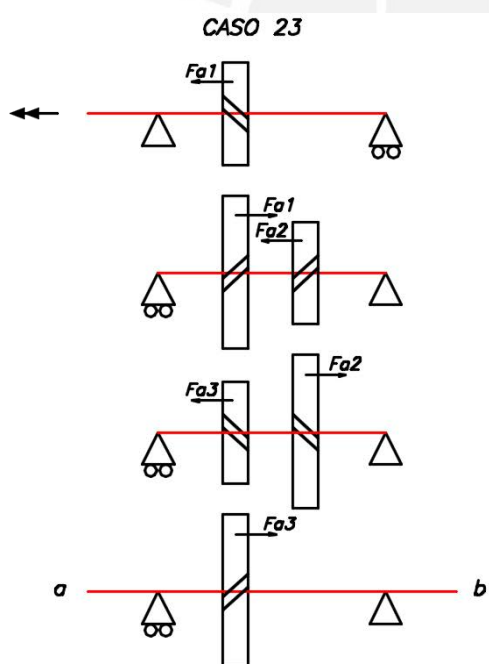
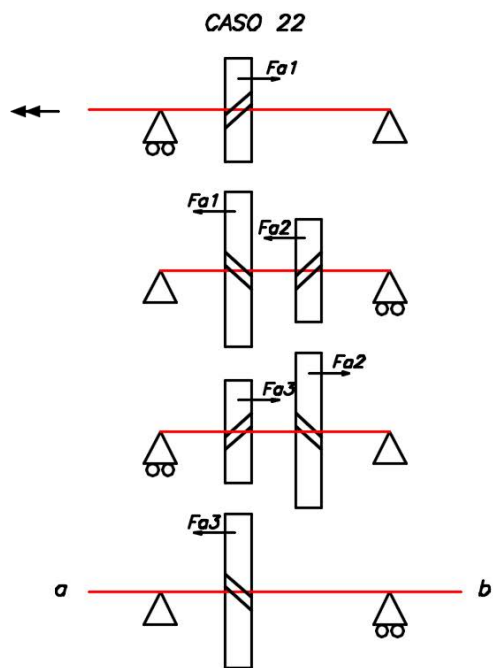
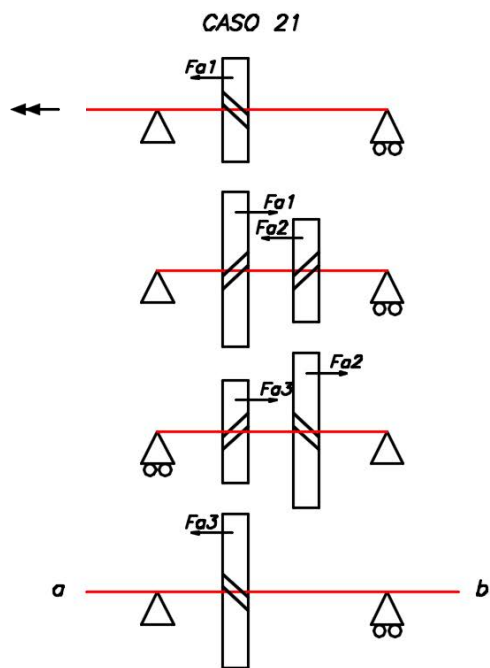


CASO 19



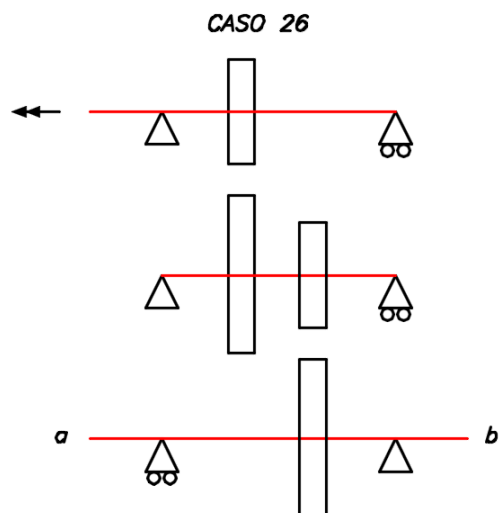
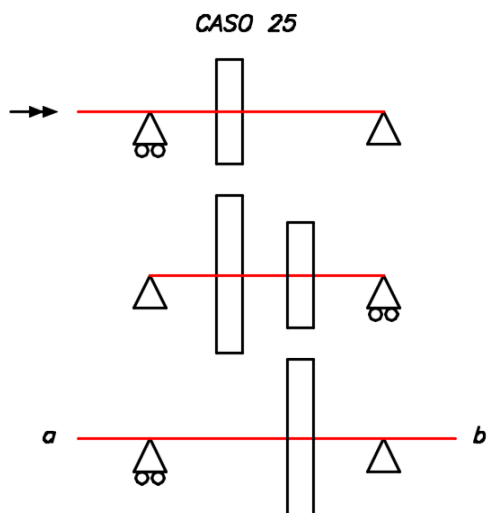
CASO 20



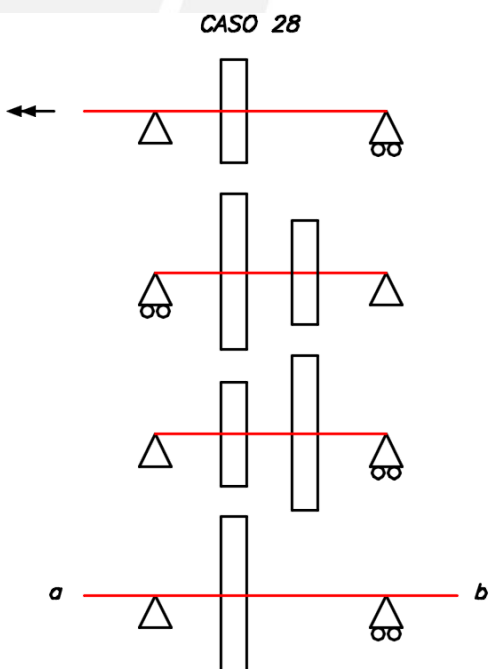
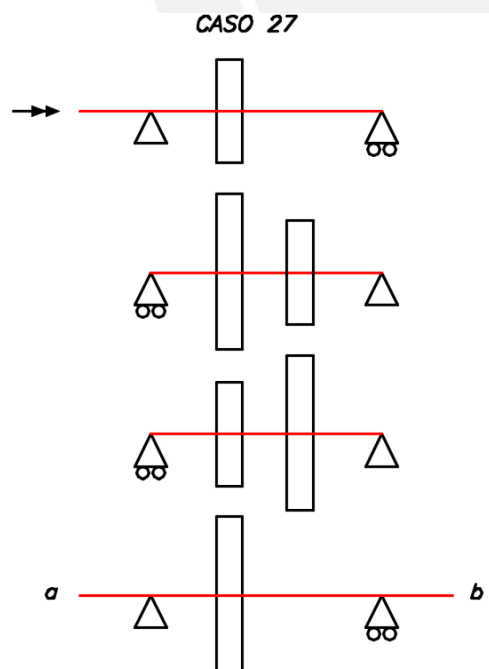


Engranés Cilíndricos rectos

2 Etapas



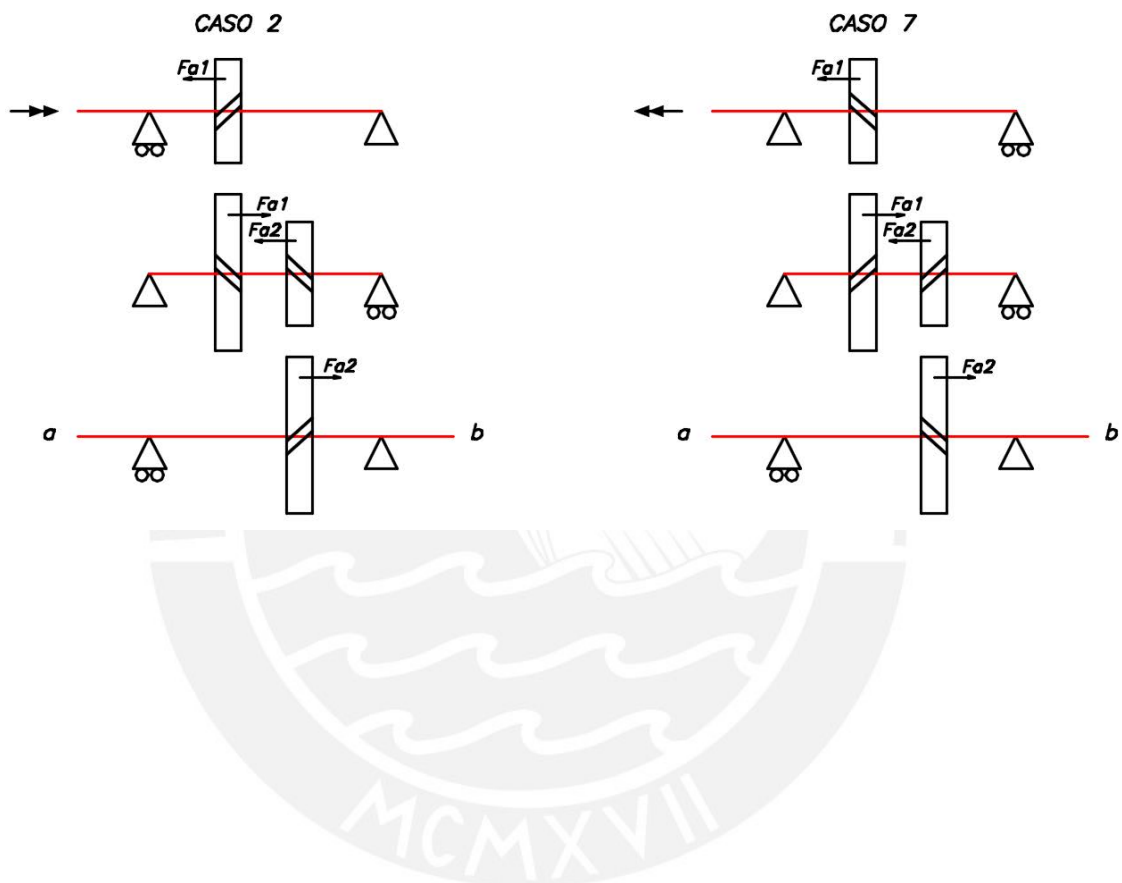
3 Etapas



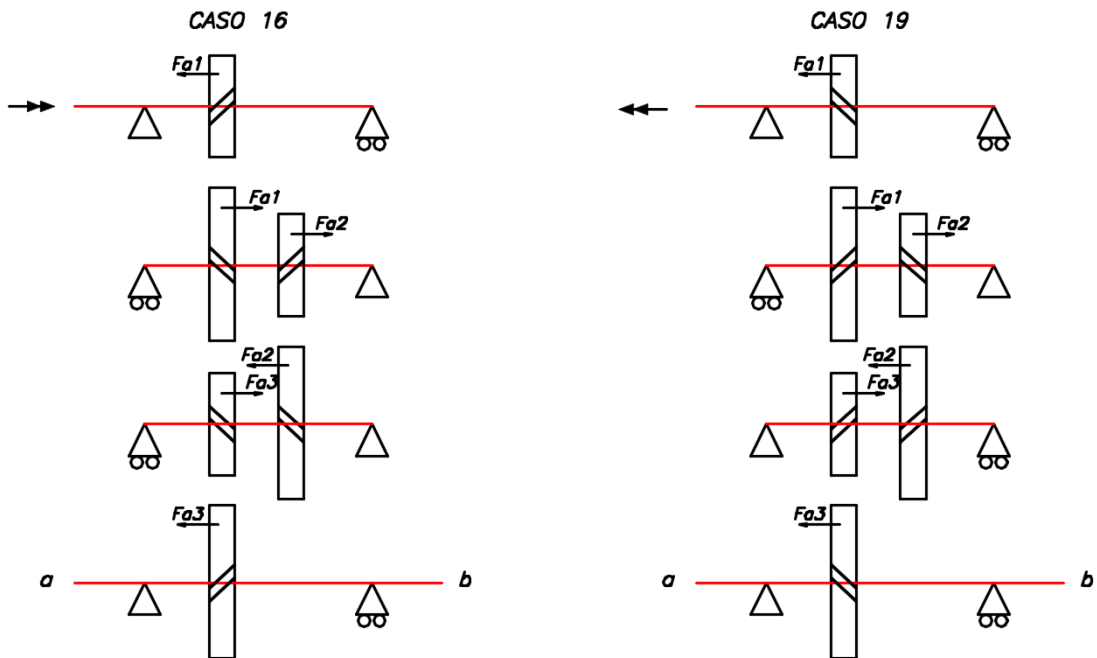
Anexo 4.2: Casos seleccionados

Engranajes cilíndricos helicoidales

2 Etapas

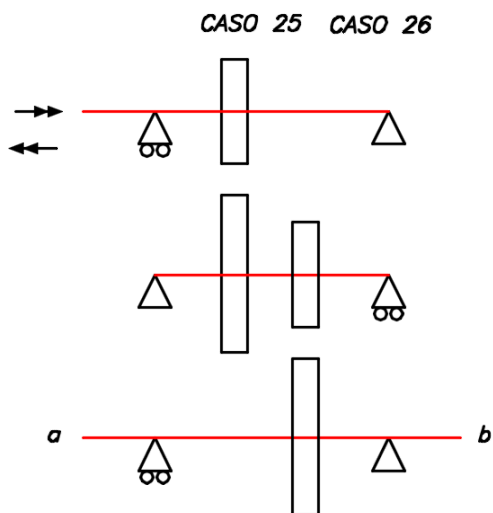


3 Etapas

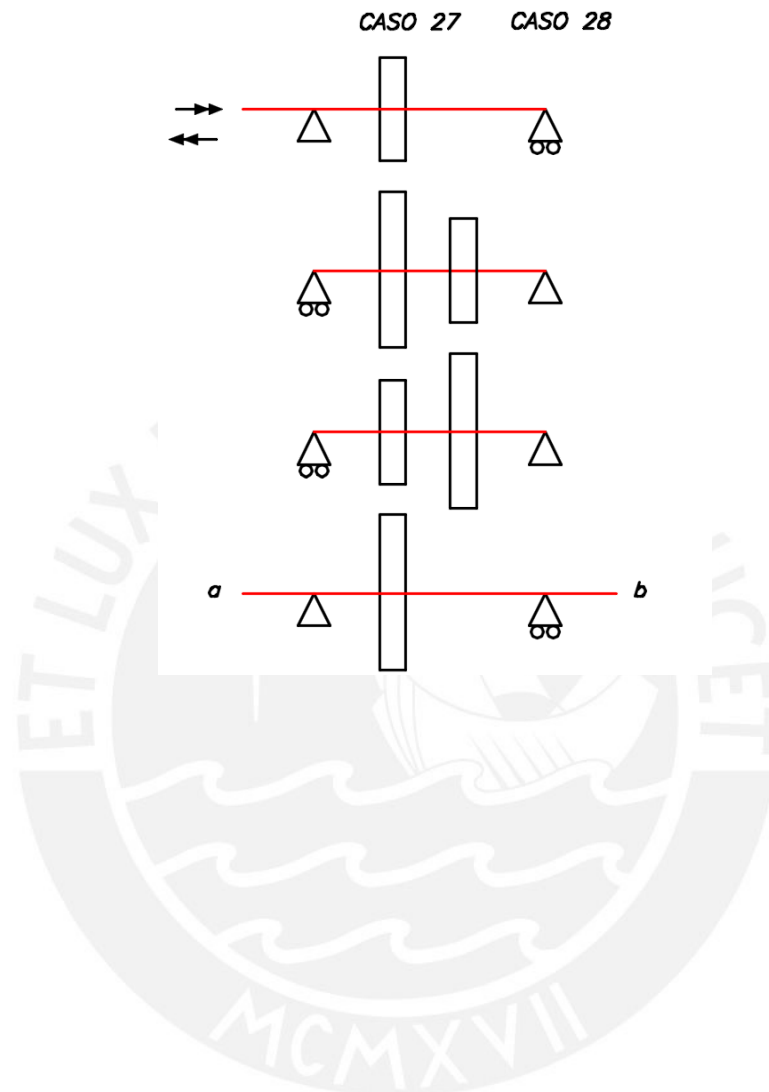


Engranajes cilíndricos rectos

2 Etapas



3 Etapas



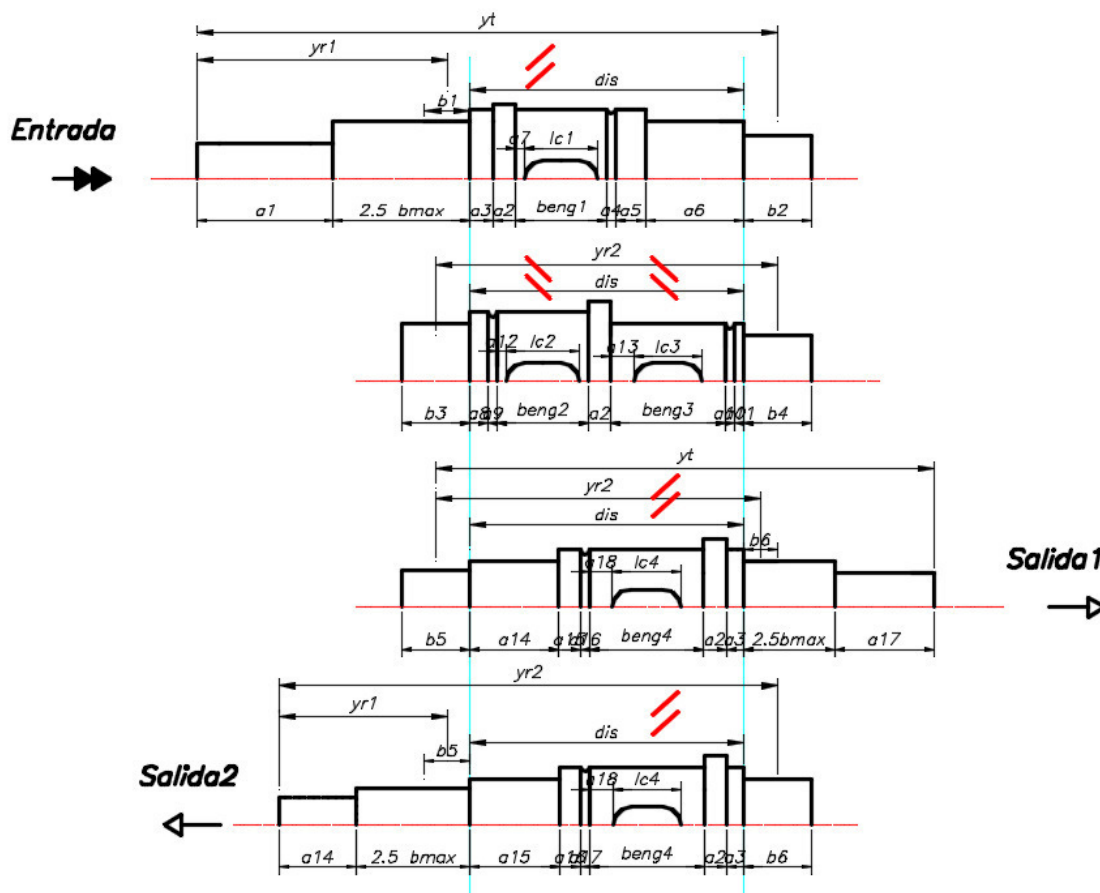
Anexo 5: Diagramas de árboles con las formas constructivas definitivas

Las imágenes que se muestran en este anexo son de fuente propia.

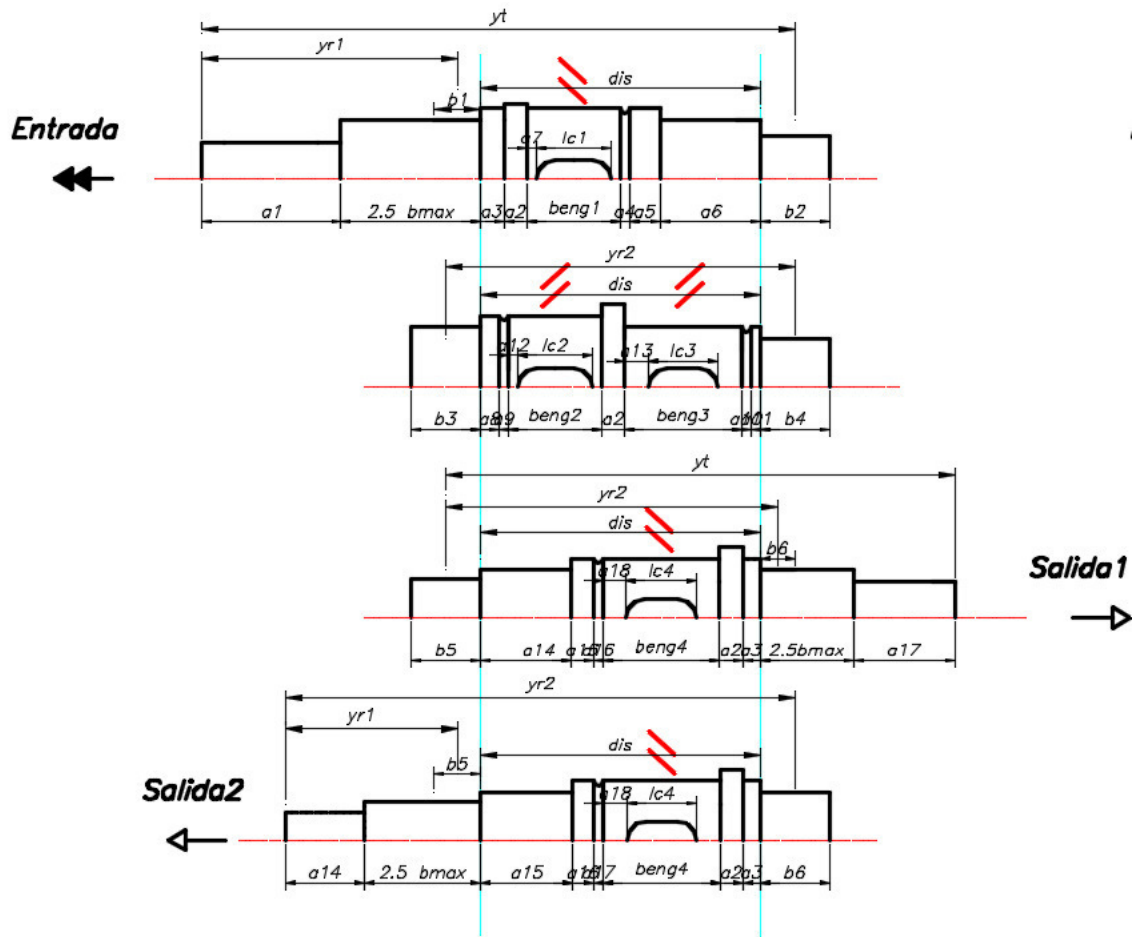
Cajas de engranes cilíndricos helicoidales

En los árboles se indica con dos líneas rojas el sentido del engrane helicoidal que se usa: izquierdo (//); derecho (\).

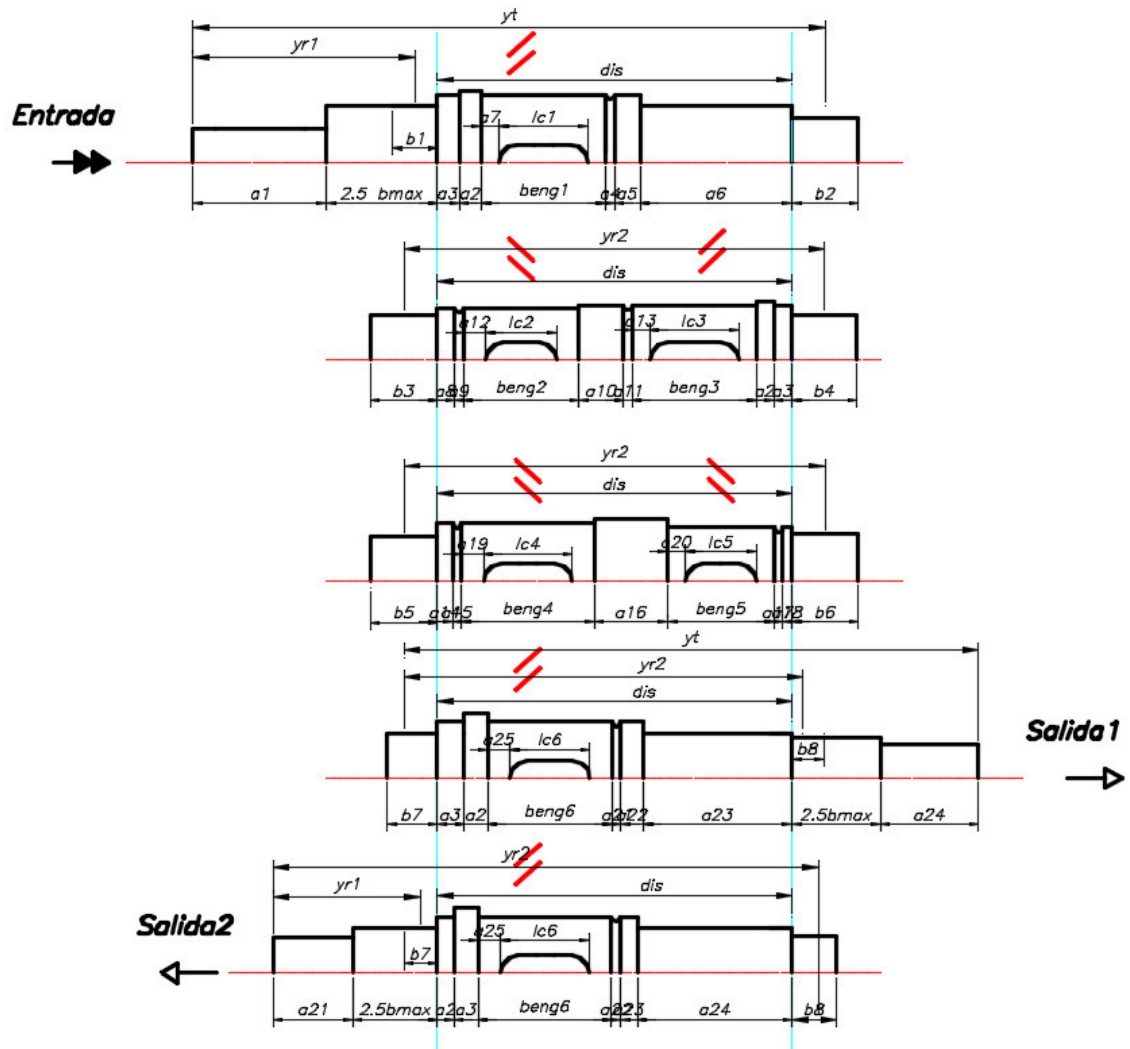
Caja 1 y 2



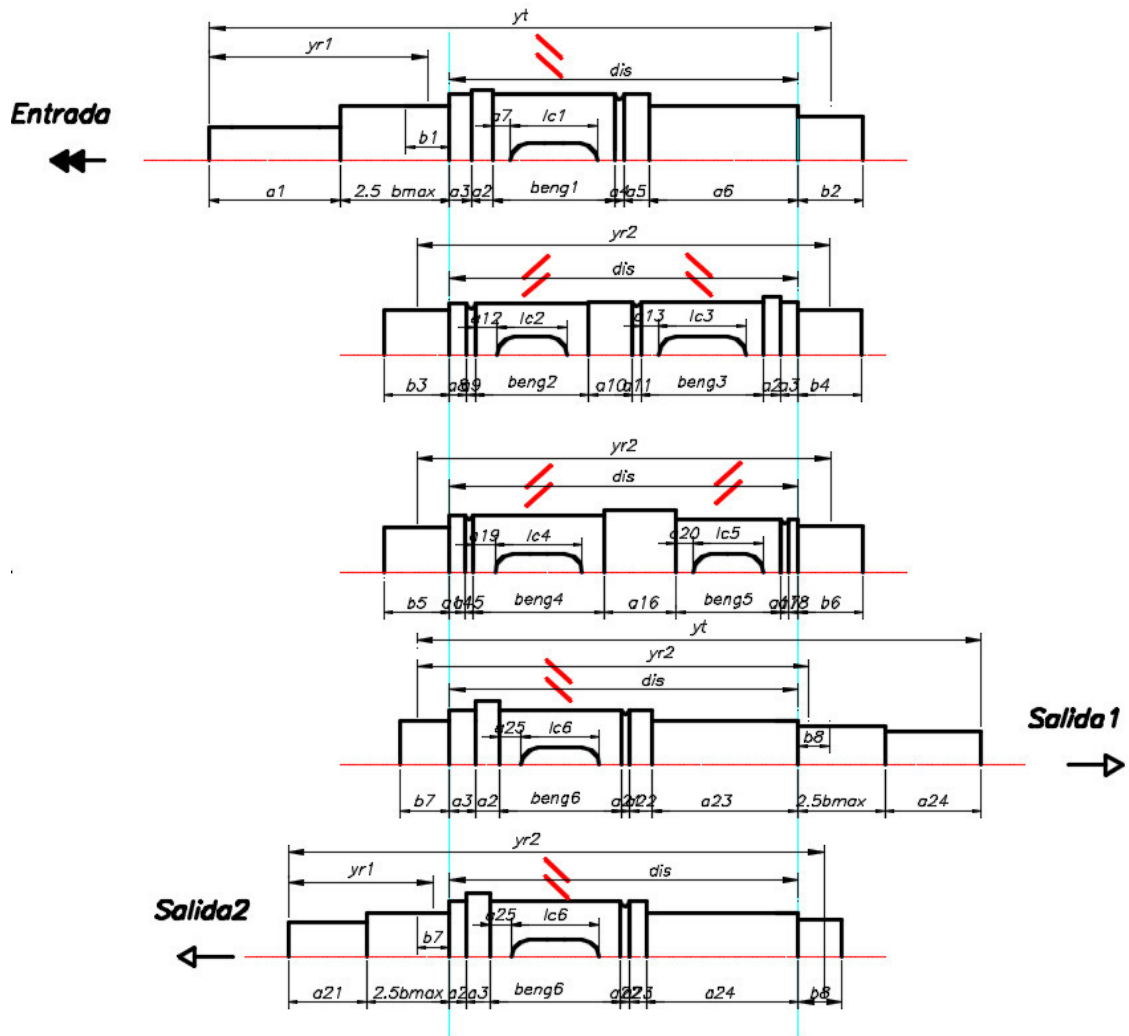
Caja 3 y 4



Caja 5 y 6

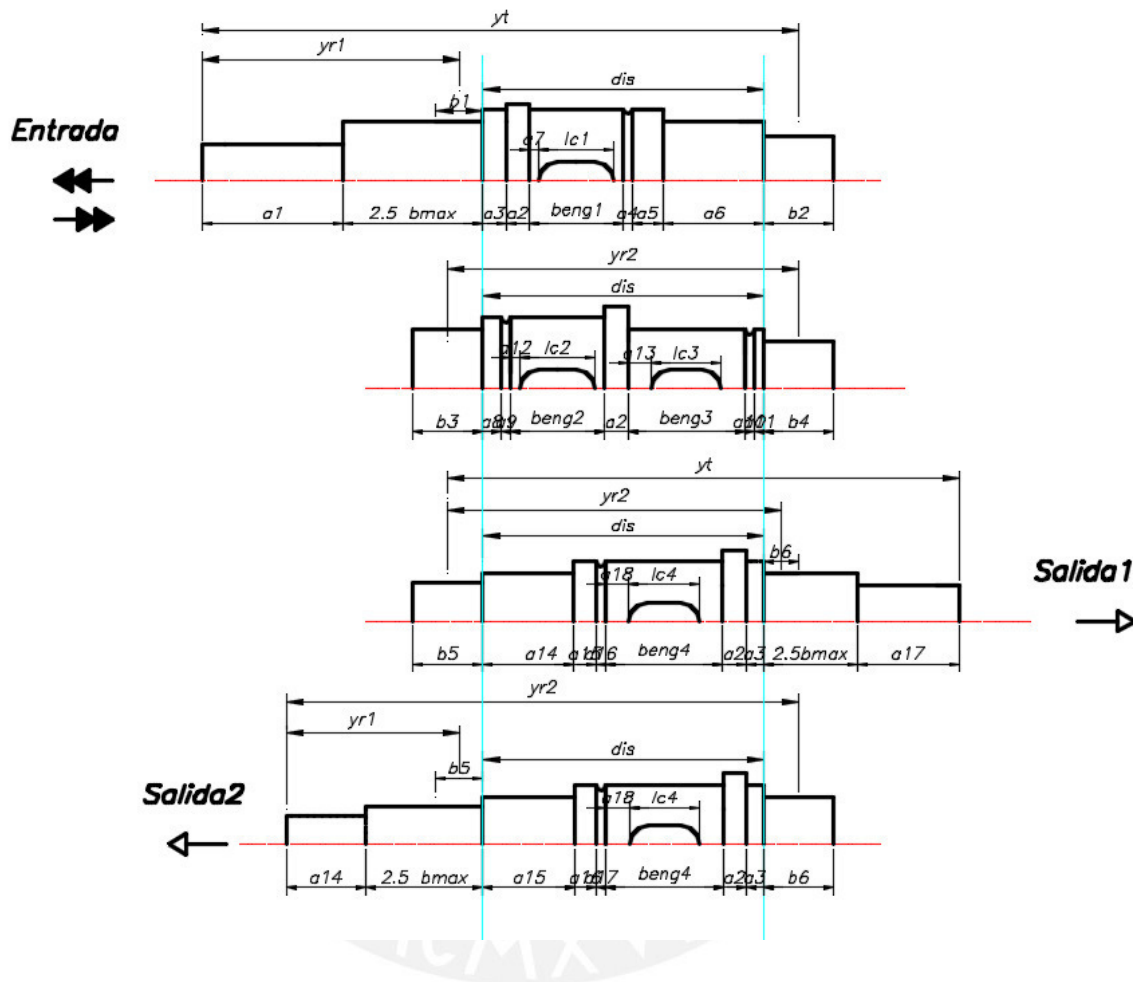


Caja 7 y 8



Cajas de engranes cilíndricos rectos

Caja 9 y 10



Caja 11 y 12

