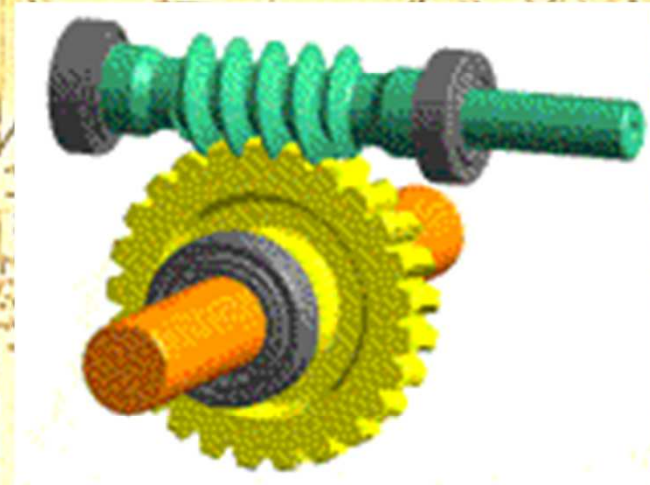
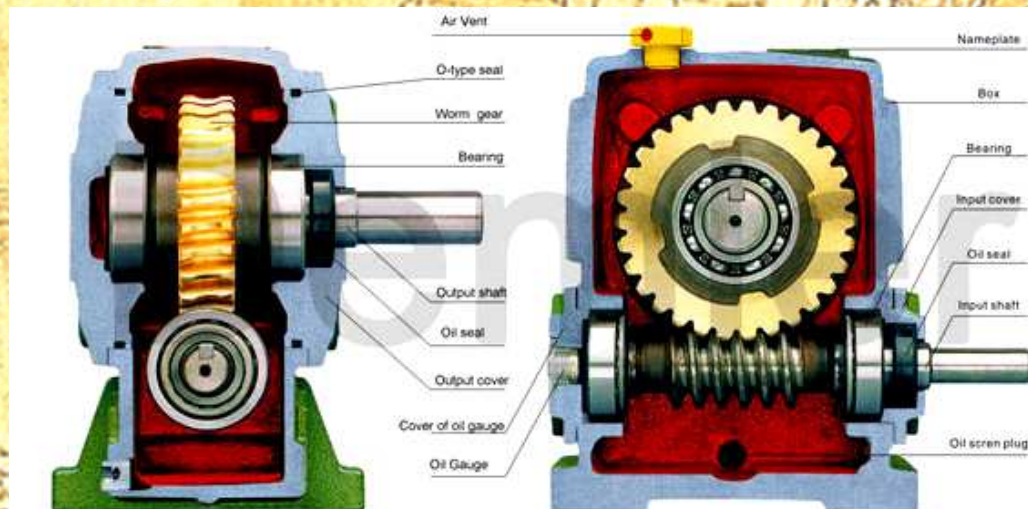


Aplicación de Técnicas "Design for..." en el Proyecto de Reductores de Velocidad a Sin Fin y Corona



Objetivos de la Exposición

- 🔧 Conocer tipos de Reductores de Velocidad a Sin Fin y Corona.
- 🔧 Visualizar algunas aplicaciones de estos reductores.
- 🔧 Conocer la secuencia de Selección del reductor.
- 🔧 Analizar geometría básica y hallar la solución mediante iteración.
- 🔧 Aplicar el Concepto de Diseño para la Fabricación.
- 🔧 Conocer las Técnicas de Diseño "Design for..."
- 🔧 Aplicar estas técnicas al Diseño del Reductor a Sin Fin y corona.
- 🔧 Orientar en los tipos de lubricación, rendimientos y relaciones de reversibilidad.

Bibliografía:

Product Design and Development. = Karl Ulrich – Mc Graw Hill - 2015

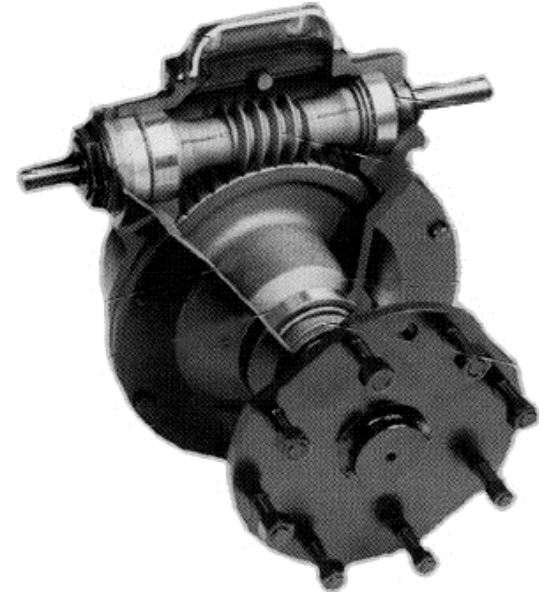
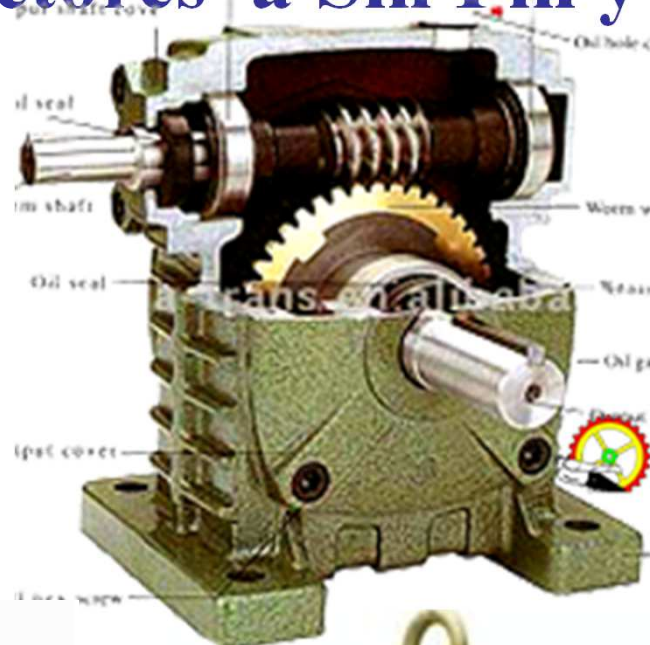
Norma DIN 3975. Conceptos y Magnitudes determinantes para engranajes helicoidales cilíndricos con ángulos de ejes a 90°.

AGMA Standard 6034-B92. Practice for enclosed cylindrical wormgear speed reducers and gearmotors.

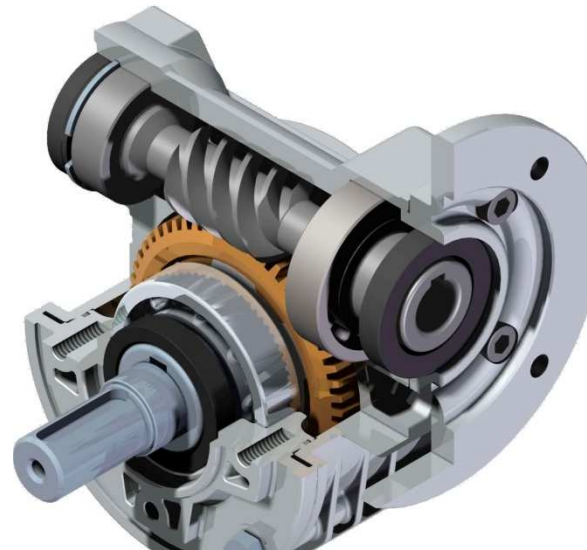
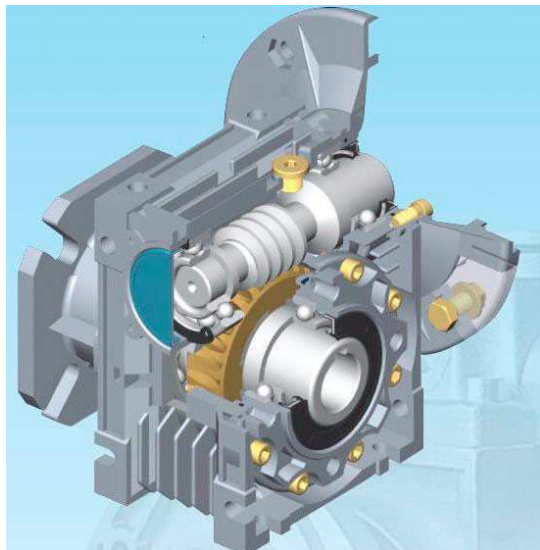
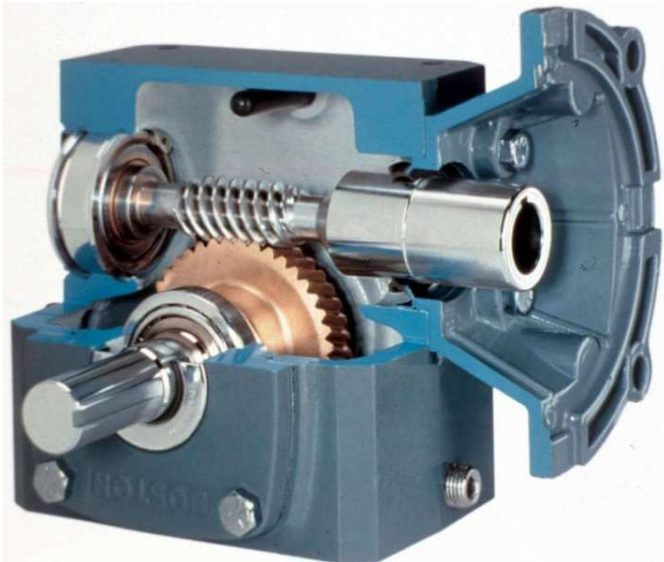
S.Radzevich, Dudley's - Handbook of Practical Gear Design and Manufacture, 2nd ed. CRC Press. Ed.2012

Catálogos empresas: Bonfiglioli – Fabbro Hnos – Cincinatti – Morse - MercoMarve - ZAE – Li Mig

Tipos de Reductores a Sin Fin y Corona



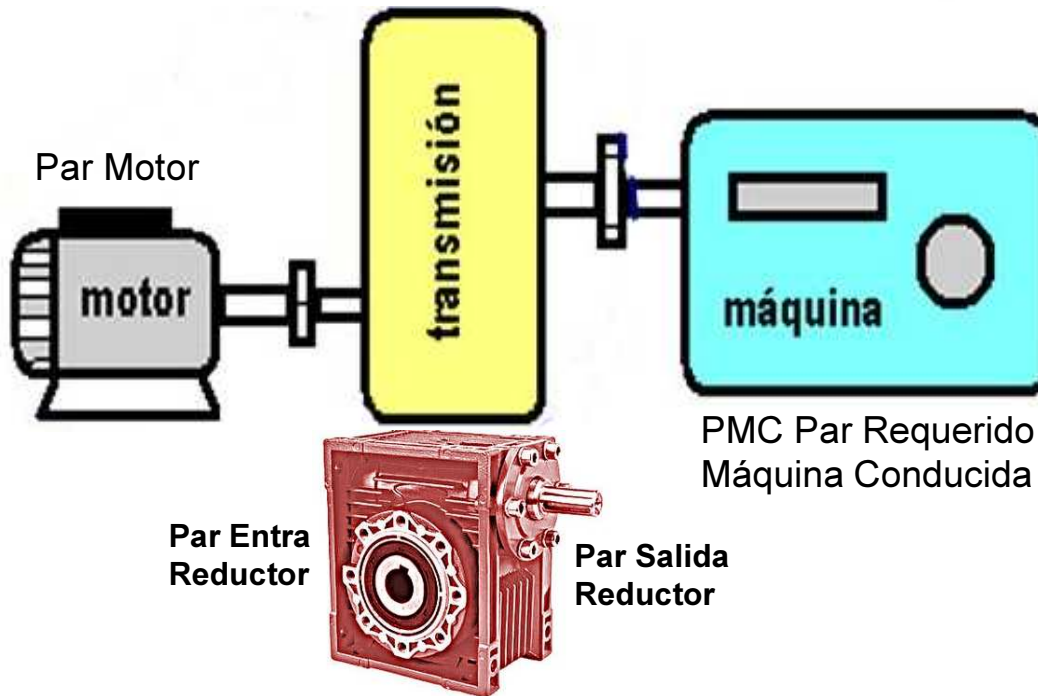
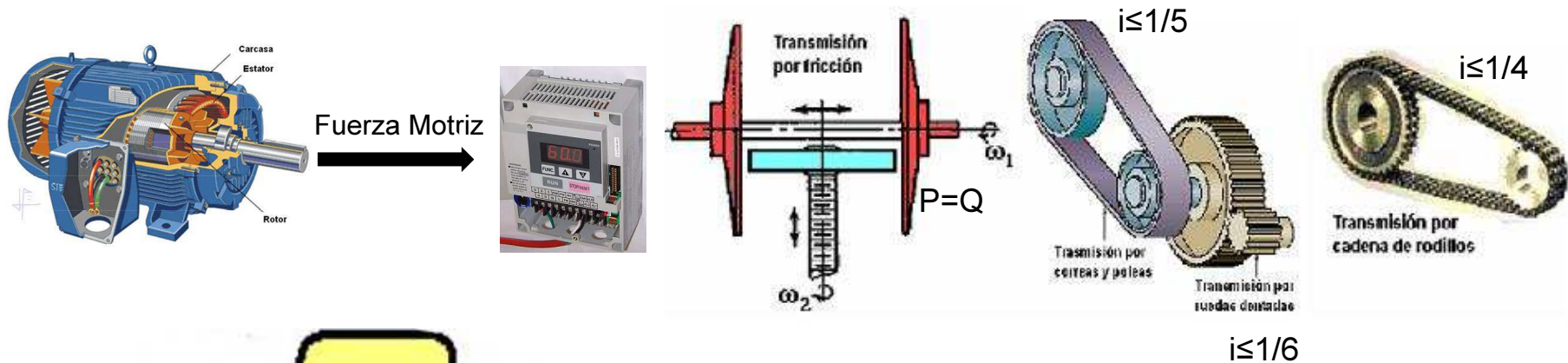
Tipos de Motorreductores a Sin Fin y Corona



Reductores Especiales a Sin Fin y Corona



Secuencia de selección de Reductores a SyC



$$\text{ParEnRed} = \text{ParSalRed} / \eta R$$

$$\text{ParSalRed} \geq \text{PMC}$$

$$\text{ParSalRed} = \text{cte} \cdot P_{\text{nom}} \cdot i$$

$$P_{\text{eq}} = P_{\text{nom}} \cdot F_s$$

Hojas de selección de Reductores a SyC

Reductor: REM040					
i	Z1	β	mx	η_d (1400)	η_s
7,5	4	18°26'06"	2	87,30%	71,24%
10	4	15°56'43"	1,5	85,30%	67,24%
15	2	11°18'36"	2	81,00%	59,27%
20	2	8°07'48"	1,5	76,40%	53,87%
25	1	7°07'30"	2,5	73,80%	50,18%
30	1	5°42'38"	2	69,70%	44,81%
40	1	4°05'08"	1,5	63,00%	38,77%
50	1	3°48'51"	1,25	60,40%	35,07%
60	1	2°51'45"	1	54,20%	29,90%
80	1	2°17'26"	0,75	48,20%	25,95%
100	1	2°28'53"	0,65	48,50%	24,77%

Reductor: REM040						
i	n1	n2	M2(Nm)	Kw1	RD	sf
7,5	1400	186,7	16	0,37	87,3	2,4
10		140	22	0,37	85,3	1,8
15		93,3	28	0,37	81	1,3
20		70	39	0,37	78,4	1,0
25		56	47	0,37	73,8	0,8
30		46,7	53	0,37	69,7	0,8
40		35	44	0,25	63	0,9
50		28	47	0,25	60,4	0,7
60		23,3	43	0,18	54,2	0,8
80		17,5	34	0,12	48,2	1,0
100		14	38	0,12	48,5	0,8

Reductor: REM050					
i	Z1	β	mx	η_d (1400)	η_s
7,5	4	19°39'14"	2,5	89,00%	70,80%
10	4	19°39'14"	2	87,50%	67,15%
15	2	10°07'29"	2,5	81,80%	58,86%
20	2	10°07'29"	2	80,20%	55,84%
25	2	7°07'30"	1,5	75,20%	50,46%
30	1	5°06'08"	2,5	70,60%	43,14%
40	1	5°06'08"	2	68,30%	39,76%
50	1	3°34'35"	1,5	61,30%	34,06%
60	1	3°11'38"	1,25	57,90%	31,40%
80	1	2°36'09"	1	52,80%	26,90%
100	1	1°50'51"	0,75	45,00%	21,12%

Reductor: REM050						
i	n1	n2	M2(Nm)	Kw1	RD	sf
7,5	1400	186,7	33	0,75	89	2,1
10		140	42	0,75	87,5	1,6
15		93,3	58	0,75	81,8	1,2
20		70	81	0,75	80,2	0,9
25		56	71	0,55	75,2	1,0
30		46,7	81	0,55	70,6	1,0
40		35	101	0,55	68,3	0,8
50		28	77	0,37	61,3	0,9
60		23,3	89	0,37	57,9	0,8
80		17,5	72	0,25	52,8	0,9
100		14	55	0,18	45	0,9

Reductor: REM063					
i	Z1	β	mx	η_d (1400)	η_s
7,5	4	17°06'10"	3	89,10%	71,89%
10	4	19°39'14"	2,5	88,60%	68,23%
15	2	8°44'46"	3	82,40%	59,57%
20	2	10°07'29"	2,5	81,80%	55,54%
25	2	9°27'44"	2	79,70%	52,11%
30	1	4°45'49"	3	72,30%	43,97%
40	1	5°06'08"	2,5	70,60%	40,34%
50	1	4°45'49"	2	67,50%	36,82%
60	1	4°05'08"	1,75	64,50%	34,33%
80	1	3°11'38"	1,25	57,90%	28,44%
100	1	2°17'26"	1	51,10%	24,05%

Reductor: REM063						
i	n1	n2	M2(Nm)	Kw1	RD	sf
7,5	1400	186,7	68	1,5	89,1	1,9
10		140	88	1,5	88,6	1,4
15		93,3	126	1,5	82,4	1,1
20		70	166	1,5	81,8	0,8
25		56	146	1,1	79,7	0,9
30		46,7	162	1,1	72,3	1,0
40		35	207	1,1	70,6	0,7
50		28	124	0,55	67,5	1,1
60		23,3	140	0,55	64,5	0,9
80		17,5	115	0,37	57,9	1,1
100		14	129	0,37	51,1	0,9

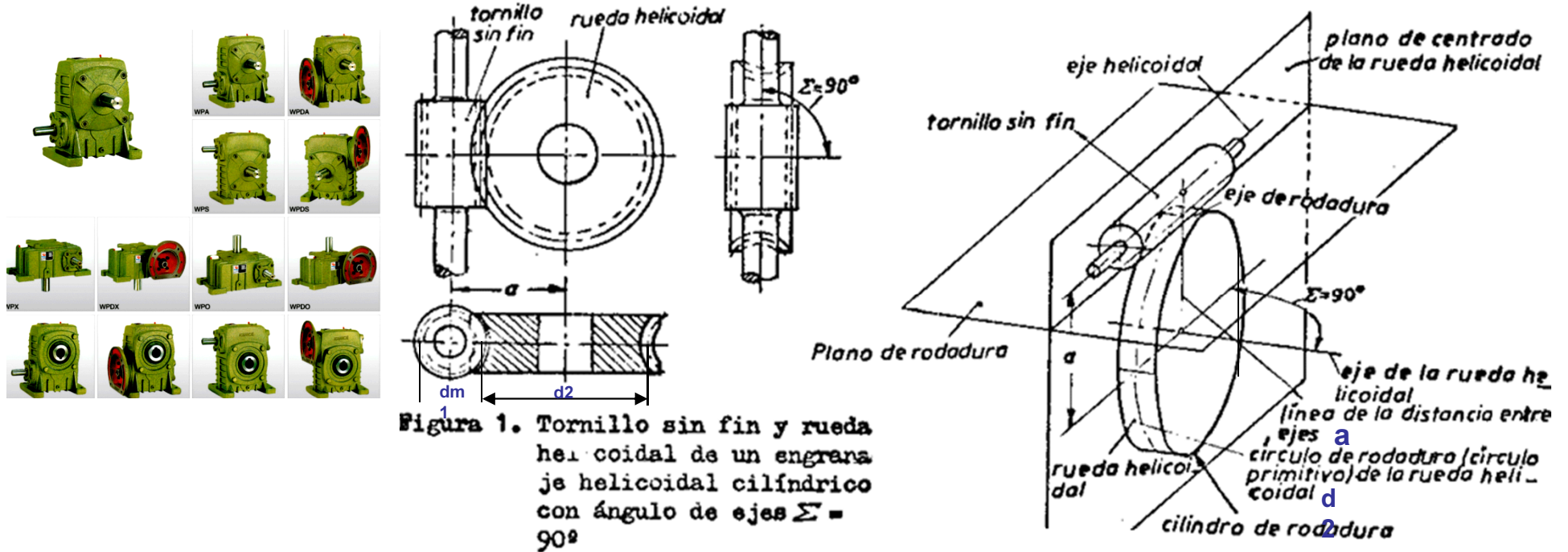
Hojas de selección de Reductores a SyC

BWQ	i	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
25	Z1	4	3	2	2		1	1	1	1		
	Y	25° 18'	19° 31'	13° 18'	10° 53'		6° 44'	5° 29'	4° 34'	3° 56'		
	mx	1,3	1,3	1,3	1		1,3	1	0,8	0,67		
	hd	0,84	0,82	0,78	0,74		0,66	0,61	0,57	0,54		
	hs	0,7	0,67	0,6	0,55		0,46	0,41	0,36	0,34		
30	Z1	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	
	Y	18° 50'	14° 21'	9° 40'	7° 44'	5° 34'	4° 42'	3° 53'	3° 11'	2° 46'	2° 46'	
	mx	1,44	1,44	1,44	1,1	1,7	1,44	1,1	0,88	0,75	0,56	
	hd	0,84	0,81	0,76	0,72	0,67	0,64	0,58	0,54	0,5	0,44	
	hs	0,66	0,62	0,54	0,5	0,43	0,39	0,35	0,31	0,27	0,23	
40	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	21° 48'	17° 31'	11° 18'	8° 58'	7° 41'	5° 42'	4° 30'	3° 51'	3° 17'	2° 32'	2° 05'
	mx	2	1,5	2	1,5	1,25	2	1,5	1,25	1,04	0,78	0,63
	hd	0,86	0,85	0,81	0,77	0,74	0,69	0,64	0,61	0,57	0,51	0,47
	hs	0,69	0,65	0,58	0,53	0,5	0,44	0,4	0,36	0,32	0,28	0,24
50	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	21° 48'	17° 42'	11° 18'	9° 04'	7° 36'	5° 42'	4° 32'	3° 49'	3° 17'	2° 33'	2° 04'
	mx	2,5	1,9	2,5	1,9	1,54	2,5	1,9	1,54	1,3	0,98	0,78
	hd	0,86	0,84	0,8	0,77	0,74	0,7	0,65	0,61	0,57	0,51	0,49
	hs	0,69	0,65	0,58	0,54	0,5	0,44	0,39	0,35	0,32	0,27	0,23
63	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	24° 31'	20° 19'	12° 50'	10° 29'	8° 44'	6° 30'	5° 17'	4° 23'	3° 47'	2° 59'	2° 25'
	mx	3,25	2,5	3,25	2,5	2	3,25	2,5	2	1,68	1,28	1,02
	hd	0,87	0,86	0,82	0,8	0,77	0,73	0,69	0,65	0,61	0,56	0,5
	hs	0,7	0,65	0,59	0,54	0,5	0,45	0,4	0,36	0,33	0,28	0,24
75	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	26° 33'	21° 48'	14° 02'	11° 18'	9° 37'	7° 07'	5° 42'	4° 50'	4° 05'	3° 15'	2° 40'
	mx	4	3	4	3	2,45	4	3	2,45	2	1,54	1,24
	hd	0,88	0,87	0,84	0,81	0,79	0,75	0,71	0,68	0,64	0,59	0,54
	hs	0,7	0,67	0,6	0,57	0,52	0,46	0,42	0,38	0,35	0,29	0,26
90	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	28° 20'	23° 26'	15° 05'	12° 14'	10° 37'	7° 40'	6° 11'	5° 21'	4° 36'	3° 36'	2° 57'
	mx	4,8	3,6	4,8	3,6	3	4,8	3,6	3	2,5	1,88	1,5
	hd	0,89	0,88	0,85	0,83	0,81	0,77	0,74	0,71	0,68	0,62	0,58
	hs	0,72	0,69	0,63	0,59	0,55	0,49	0,45	0,41	0,38	0,32	0,28
110	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	28° 17'	27° 35'	15° 03'	14° 38'	12° 37'	7° 39'	7° 26'	6° 23'	5° 31'	4° 23'	3° 38'
	mx	5,89	4,6	5,89	4,6	3,75	5,89	4,6	3,75	3,12	2,36	1,9
	hd	0,89	0,88	0,85	0,84	0,83	0,78	0,77	0,74	0,71	0,66	0,62
	hs	0,71	0,68	0,62	0,61	0,58	0,48	0,48	0,44	0,41	0,36	0,32
130	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	28° 46'	26° 15'	15° 21'	13° 51'	11° 49'	7° 48'	7° 01'	5° 58'	5° 12'	4° 05'	3° 25'
	mx	7	5,4	7	5,4	4,37	7	5,4	4,37	3,68	2,75	2,24
	hd	0,9	0,88	0,86	0,85	0,83	0,79	0,77	0,74	0,71	0,67	0,63
	hs	0,71	0,68	0,62	0,6	0,57	0,49	0,46	0,43	0,39	0,34	0,3

i	n2	n1 = 1400								
			30	40	50	63	75	90	110	130
7,5	187	kw1	0,41	0,9	1,58	2,84	4,1	6,3	10,4	16,1
		M2	18	40	71	128	185	290	480	750
10	140	kw1	0,32	0,69	1,23	2,19	3,25	5,1	8,57	13,5
		M2	18	40	72	130	195	310	520	820
15	93	kw1	0,23	0,48	0,88	1,65	2,3	4,1	6,5	10,3
		M2	18	40	74	140	200	360	570	920
20	70	kw1	0,18	0,37	0,68	1,22	1,88	3,1	4,8	7,8
		M2	18	39	73	135	210	355	560	910
25	56	kw1	0,18	0,3	0,54	0,98	1,47	2,43	4,1	6,5
		M2	21	38	70	130	200	340	590	930
30	47	kw1	0,15	0,31	0,57	1,1	1,48	2,6	3,9	6,35
		M2	20	45	84	160	230	410	630	1040
40	35	kw1	0,11	0,23	0,42	0,76	1,12	1,76	2,9	4,9
		M2	18	41	76	145	220	360	610	1050
50	28	kw1	0,09	0,18	0,34	0,6	0,89	1,38	2,4	3,8
		M2	17	39	73	135	210	340	600	980
60	23	kw1	0,08	0,15	0,28	0,51	0,75	1,13	1,9	3
		M2	16	36	68	130	200	320	560	900
80	18	kw1	0,05	0,12	0,22	0,39	0,58	0,83	1,3	2,3
		M2	13	33	65	122	190	285	490	840
100	14	kw1		0,09	0,16	0,34	0,48	0,67	1,1	1,7
		M2		29	55	118	180	270	460	740

Hélico con sentido derecho / The helix is right handed

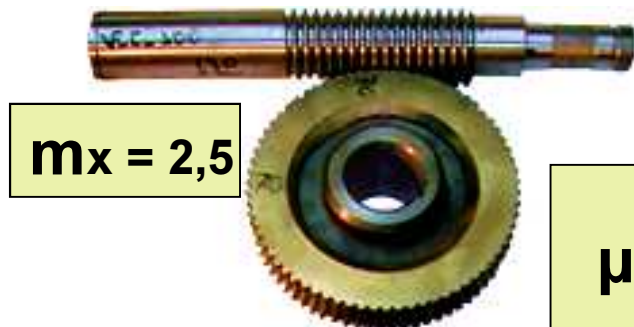
Parámetros Iniciales Diseño serie Reductores a S y C



$$a = 30, 50, 63, 75, 90, 110, 135, 170, 210, 250, 300, 360$$

a tomado como uno de los Módulos de Fabricación en Serie

Parámetros Iniciales Diseño serie Reductores a S y C

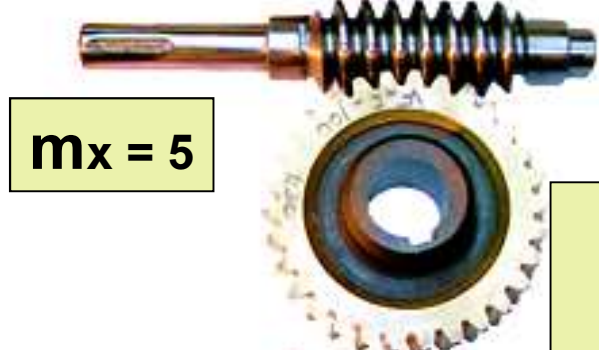


$m_x = 2,5$

$$\mu = \frac{60}{1}$$

$$\mu = \frac{z_2}{z_1}$$

Relación de números de dientes o engrane > 1



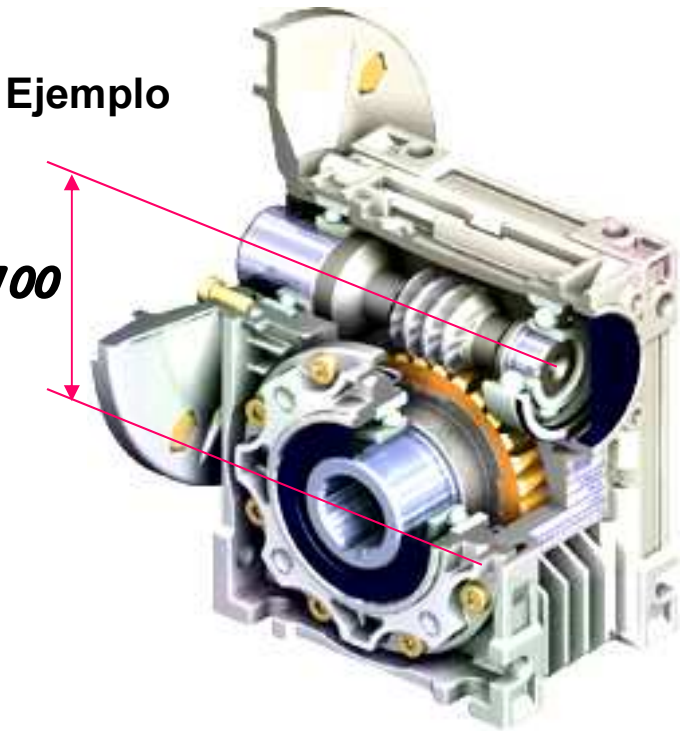
$m_x = 5$

$$\mu = \frac{30}{1}$$



$m_x = 6,5$

$$\mu = \frac{14}{3}$$



Ejemplo

$\alpha = 100$

$\mu = 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60$

2do módulo de fabricación

Relaciones estandares

Parámetros Iniciales Diseño serie Reductores a S y C

Datos del Problema

Distancia entre centros: a

Relación de engrane: μ

Resultados constructivos de Sin Fin y Corona IMD IMMOR

Geometría según DIN 3975 [mm]

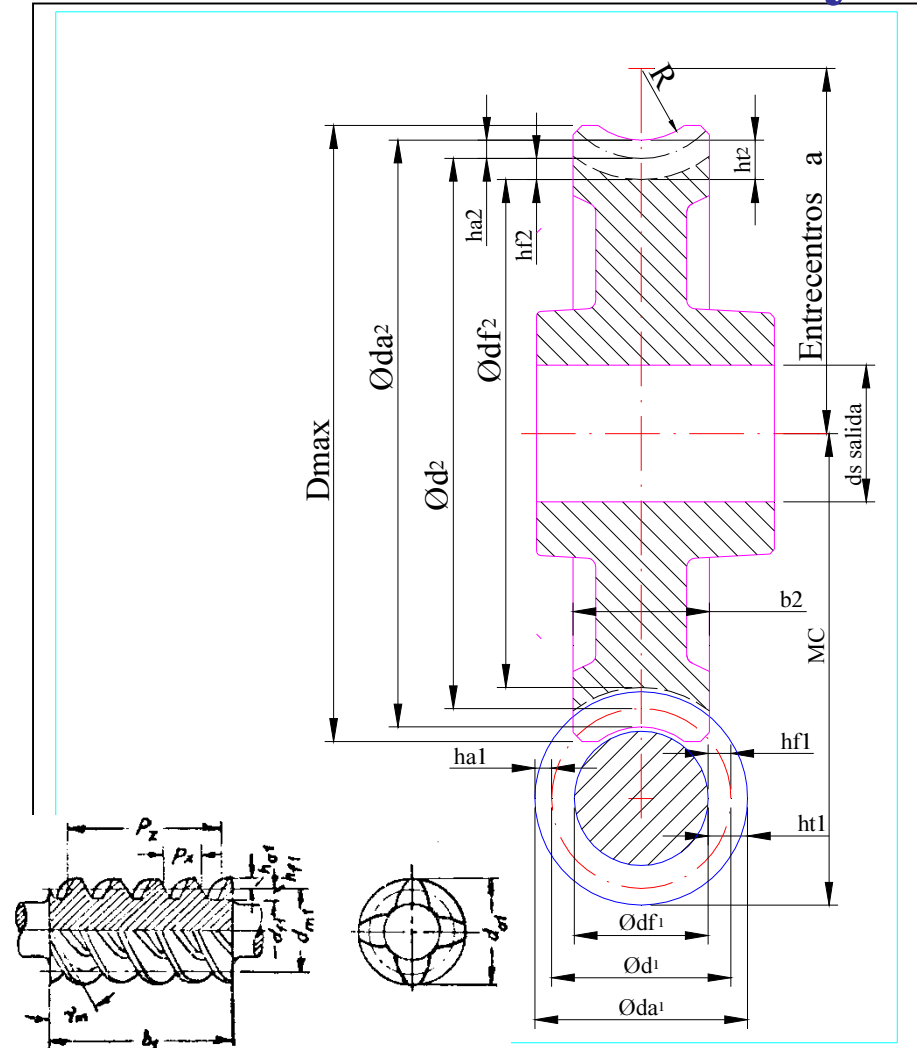
		Sin Fin (1)	Corona (2)
Entre centros	a	50	
Relación de engrane = 1 / i	u	30,000	
Números de Dientes	Z1 y Z2	1	30
Módulo Normal	mn	2,547	
Perfil Herramienta según DIN 3972	Elegir ↓	1.m=ha	1,167.m=hf
	l	2,547	2,97
Angulo de Presión Herramienta	α°	20°	
Diámetro Exterior	da	28,216	81,972
Diámetro Primitivo	d	23,122	76,878
Diámetro Interior	df	17,179	70,935
diámetro Base	db	24,606	
Ángulo de Avance hélice, en centesimal	γ_m°	6,324199328	
Ángulo de Avance hélice, en Grados	γ_m°	6°19'27,1"	
Módulo Aparente o axial	ma	2,5626	
Paso Normal del diente	pn	8,002	
Paso Normal de la hélice del Sin Fin	pnt	8,002	
Paso Axial del diente del Sin Fin	px	8,051	
Paso Axial de la hélice del Sin Fin	Px	8,051	
Longitud axial mínima dentado hélice Sin Fin	b1	28,4	

Valores para Tornería de la corona

		Sin Fin (1)	Corona (2)
Diámetro Máximo Torneado Corona	Dmax		84,53
Ancho práctico de la corona aconsejado	b2		25,47
Ancho corona según NORMA DIN 3975	b2DIN		21,27
Radio torneado extremo Corona	R		9,01

Control de dentado del Par

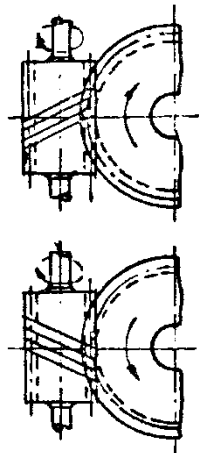
		Sin Fin (1)	Corona (2)
Relación de Diseño según DIN 3975	q		9,078
Distancia Radial de Montaje mínimo	Mc min		63,684
Distancia Radial de Montaje máximo	Mc max		64,108
Altura total del diente Sin Fin	ht1	5,52	
Altura total del diente de la corona	ht2		5,52
Dirección de las hélices del par	ã ã		Derecha



$$\alpha = \frac{dm1 + d2}{2} + x \cdot mn = mn/2 \cdot (q + z2 + 2 \cdot x)$$

1

Geometría Básica según AGMA 6034 y DIN 3975



sin fin de paso
a derecha

sin fin de paso
a izquierda

Figura 3. Sentido de giro del sin fin y de la rueda helicoidal con sin fin de paso a derecha y a izquierda

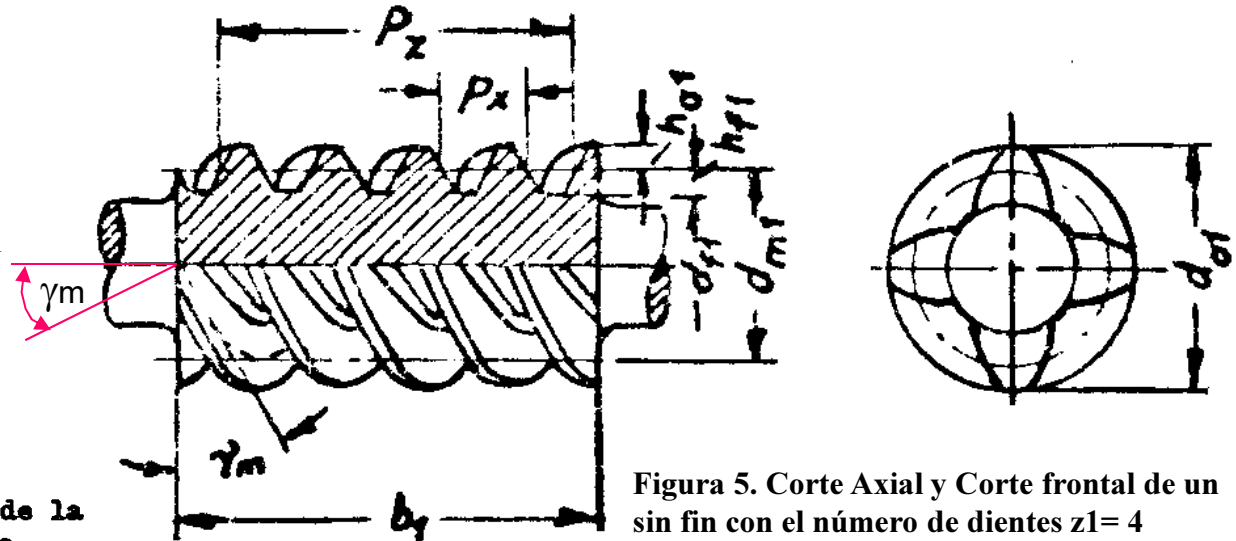
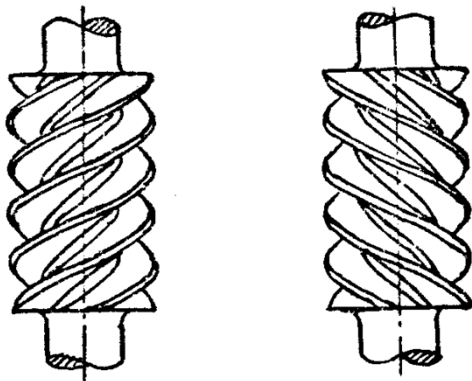


Figura 5. Corte Axial y Corte frontal de un sin fin con el número de dientes z1= 4



sin fin de pa-
se a derecha

sin fin de pa-
so a izquierda

Figura 4. Dirección del paso

$$\mu = \frac{z2}{z1} \quad (2)$$

$$px1 = mx \cdot \pi \quad (3)$$

$$mx = px1 / \pi = mn / \cos \gamma_m \quad (4)$$

$$b1 \geq 2 \cdot mn \cdot \sqrt{z2 + 1} \quad (11)$$

$$b2 \geq 2 \cdot mn + \sqrt{da1^2 - d1^2} \quad (12)$$

según AGMA $dm1_{max} = \frac{\alpha^{0,875}}{1,07}$ según Dudley $dm1_{min} = \frac{\alpha^{0,875}}{2,0}$ $dm1 = \frac{\alpha^{0,875}}{1,488} \quad (5)$

$$ht1 = ha1 + hf1 = \frac{1}{2} (da1 - df1) \quad (6)$$

$$ha1 = 1 \cdot mn \quad (7)$$

$$hf1 = mn \cdot (1 + c1) \quad (8)$$

$$da1 = dm1 + 2 \cdot ha1 \quad (9)$$

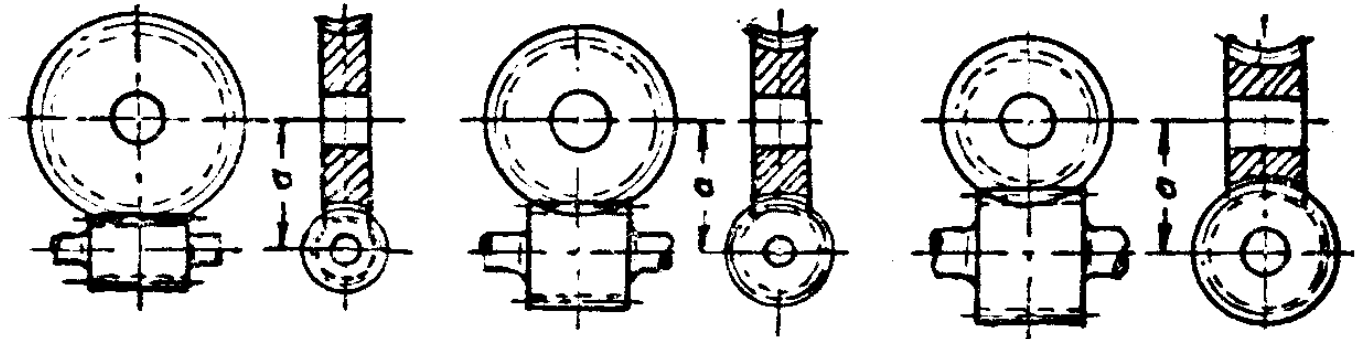
$$df1 = dm1 - 2 \cdot hf1 \quad (10)$$

Geometría Básica según DIN 3975 y AGMA 6034

Criterio de Diseño según DIN 3975

Coefficiente de forma q

$$q = \frac{d_{m1}}{m_n}$$



13

$$\tan \gamma_m = \frac{z_1}{q} = \frac{z_1 \cdot m_x}{d_{m1}}$$

$$q = 7$$

$$\gamma_m = 8,1^\circ$$

$$q = 10$$

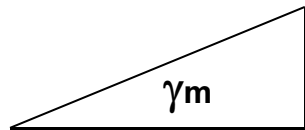
$$\gamma_m = 5,7^\circ$$

$$q = 17$$

$$\gamma_m = 3,4^\circ$$

Observación párrafo 3.5.2 DIN 3975: Influencia del Coeficiente de forma q sobre figura de engranajes helicoidales, con igual entre centros a , igual relación de transmisión i e igual N° de dientes del sin fin $Z_1=1$; ángulo de paso centrado γ_m

Criterio de Diseño según AGMA 6034- B92



L avance corona

$$\tan \gamma_m = \frac{L}{\pi \cdot d_{m1}} \quad 14$$

de
Figura 5

$$p_{x1} \times Z_1 = b_1 = L \quad 15$$

$$p_{x1} = p_{t2}$$

Ver figura adjunta apuntes

$$d_2 = 2 \cdot a - d_{m1} \quad 16$$

$$p_{x1} = \frac{L}{Z_1} = p_{t2} = \frac{\pi \cdot d_2}{Z_2} \quad 17$$

de 2, 15 y 17 tenemos

$$\tan \gamma_m = \frac{d_2}{\mu \cdot d_{m1}} \quad 18$$

$$h_a = 0,3183 \cdot p_{x1} \quad 19$$

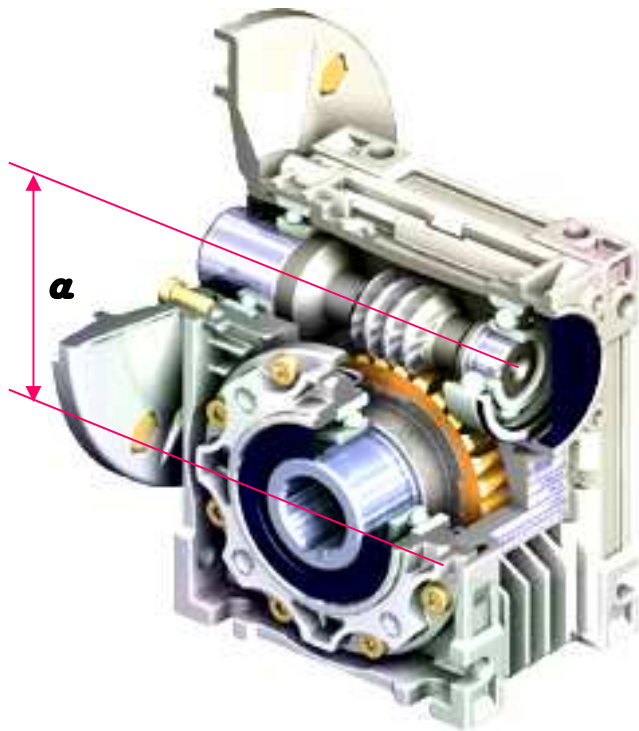
$$h_f = 0,3683 \cdot p_{x1} \quad 20$$

Pasos a seguir para resolver el problema planteado

Datos del Problema

Distancia entre centros: α

Relación de engrane: μ



Pasos a seguir en el diseño

1ro. Analizar catálogos fabricantes para hallar z_1 de primera instancia.

2do. Según u , puedo obtener z_2

3ro. Determinar según (5) el dm_1 de primera instancia.

4to. Luego calcular d_2 con (16)

5to. Obtener pt_2 y px_1 con (17)

6to. Hallar m_x con (3)

7mo. Determinar en 1era instancia el valor de γ_m mediante (13)

8vo. Por otro camino hallar γ_m con (18)

9no. Obtener m_n normalizado con (4)

10o. Adoptar m_n e iterar hasta que los valores de γ_m sean iguales. (cambiar dm_1 o m_n)

11o. Tratar de optimizar el cálculo mediante planilla de cálculo y aplicando la función Objetivo.

12o. Finalmente mediante 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 obtener toda la geometría del par sin fin y corona.

Consejos para un buen diseño

A- El df_1 debe ser $>$ que el diámetro del eje de entrada del reductor.

B- Se deben usar módulos normalizados

C- Z_2 mayor a 19 p/ evitar Interferencia

D- Puede darse el caso de existir una, varias o ninguna solución para los datos.

E- El da_1 del sin fin no debe ser mayor que el diámetro exterior del aro externo del rodamiento del eje entrada reductor.

F- Puede darse el caso de resultar una relación de transmisión no exacta o muy parecida a los datos propuestos.

Geometría a determinar

Relación u real

Módulo normal: m_n

Paso axial : $px_1 = pt_2$

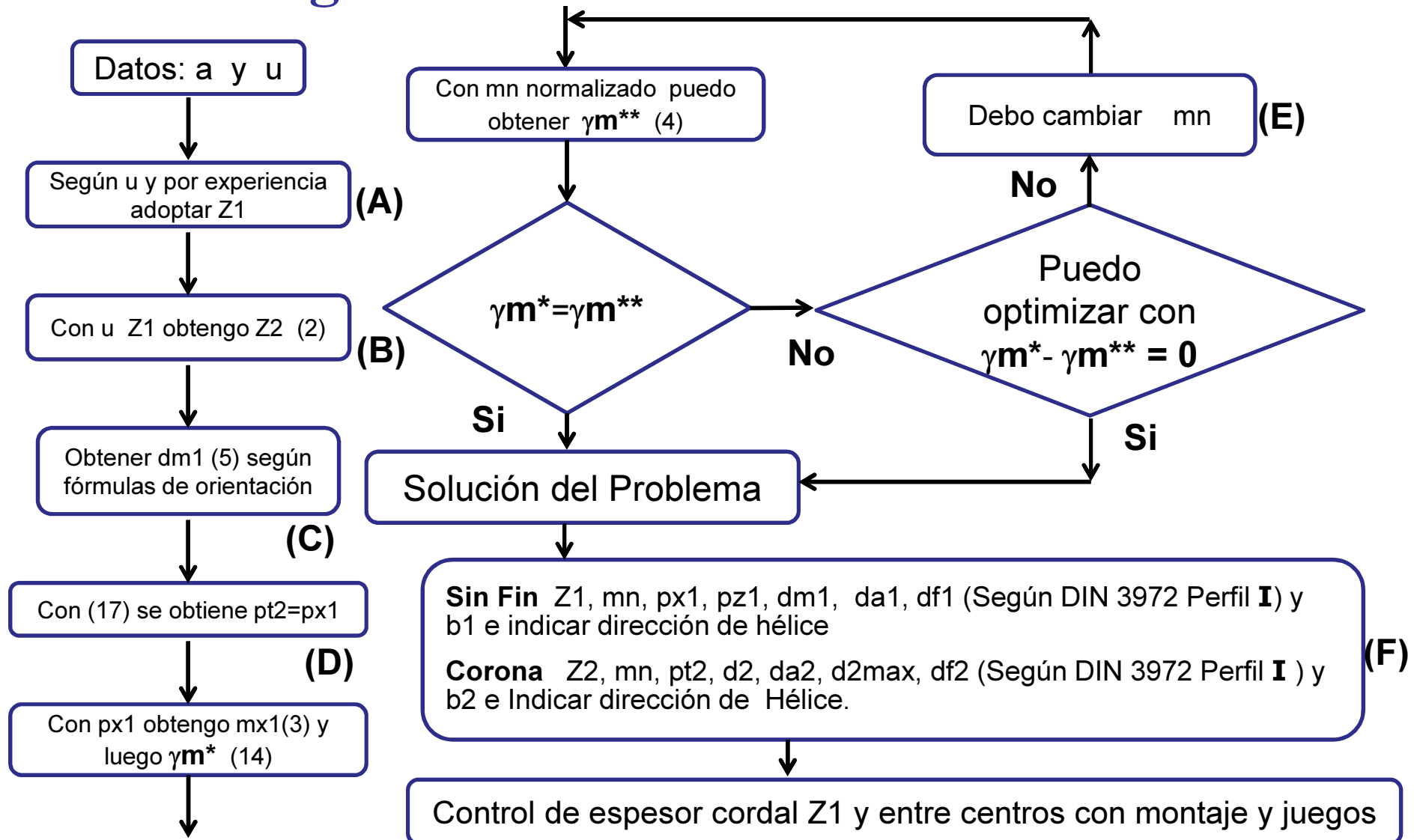
Ángulo inclinación hélice : γ_m

Finalmente

Sin fin : $z_1 - dm_1 - da_1 - df_1$, b_1 y dirección hélice.

Corona : $z_2 - d_2 - da_2 - df_2$, b_2 y dirección hélice

Algoritmo de resolución no lineal



Aplicación de “Design for ...”

(A)



Adopción Nro de Z1

Con relación 25 o más el sin fin es de una entrada.

Normalmente a menores relaciones, Z1 puede ser desde 2 a 4 entradas

Observación A: cuanto mayor Z1 en relaciones menores, mayor es el calentamiento producido por el rozamiento del contacto.

(B)



Adopción de Z2

Con u y Z1 puedo obtener Z2.

Observación B: la obtención de Z2 debe ser entero. Verificar q sugerido en DIN 3975. Analizar velocidad de rotación ambos engranajes. A mayor Z1 se complica mecanizado corona. No siempre se obtiene una relación exacta de u.

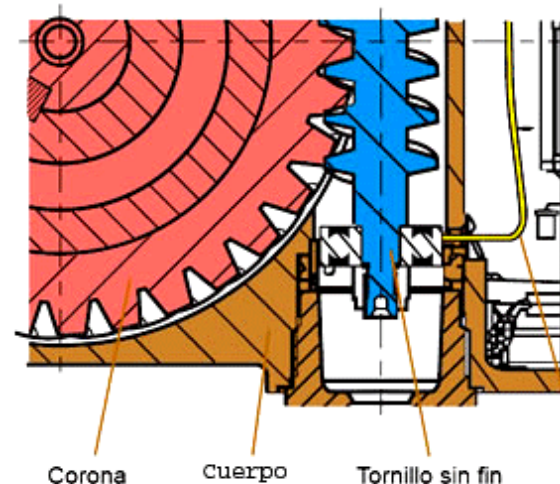
Aplicación de "Design for ..."

(C)

Calcular $dm1$

No debe sobrepasar el agujero en la caja
Relaciones u menores a 10 sucede esto.
Limitante pared lateral caja.

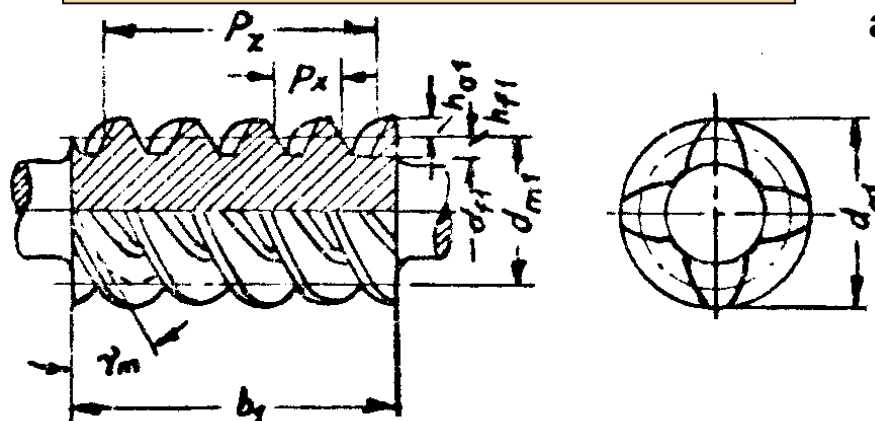
Observación C: $dm1$ de alguna manera da la idea del ancho de la caja reductora incluyendo la luz lateral para la lubricación. El $dm1$ no debe ser mayor que el diámetro del aro externo del Rodamiento que se ubica en el sin fin.



(D)

Cálculo del paso p_x1

Importante para mecanizado y control



Observación D: la obtención de p_x1 se verifica con las primeras trazas del mecanizado. Sirve también para verificar el armado de la caja de división:



Aplicación de "Design for ..."

(E)

Seleccionar mn

Los módulos deben ser normalizados de mn según DIN 3972. Desde 1 a 9 de 0,25 de salto entre ellos. Perfil ZE.

Observación E: Las herramientas para el sin fin son fresas de disco bi cónicas para cremalleras y lo mejor para mecanizar las coronas son aquellas que tienen un 5% más de $da1$.

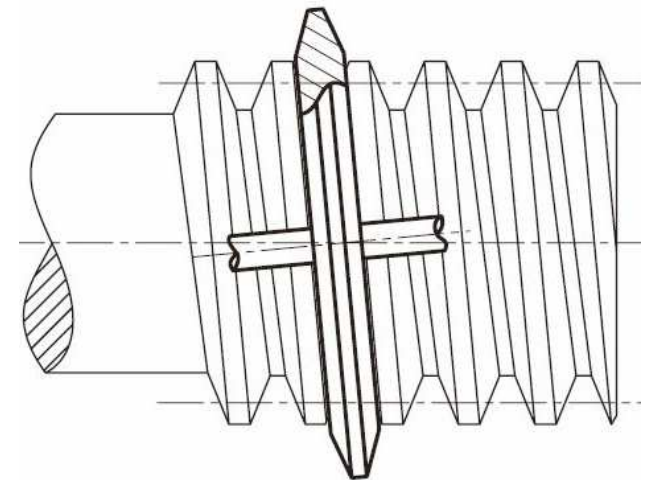
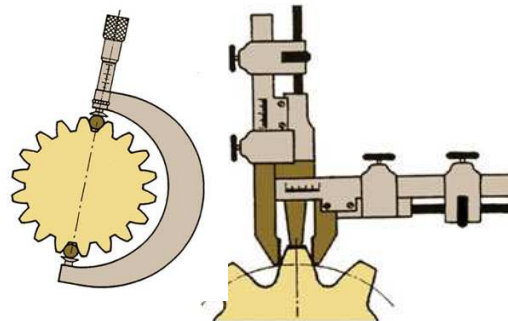


(F)

Cálculo del $dm1$

Importante para mecanizado y control

Observación F: el control mediante 3 hilos o rodillos nos permitirá verificar la hélice.



Aplicación de “Design for ...”

(G)

Obtención de da_2

El diámetro da_2 max no debe exceder el agujero lateral de la caja

Observación G: El diámetro mayor lateral de la corona es una medida de proporcionalidad de diseño de la caja reductora para cuerpos enterizos.

(H)

Espesor de la llanta de la corona

Debe ser como mínimo una altura de diente por debajo del df_2 .

Observación H: la obtención de px_1 se verifica con las primeras trazas del mecanizado. Sirve también para verificar el armado de la caja de división:



Aplicación de "Design for ..."

(I)

Diseño Proporcionalado

Las dimensiones obtenidas deben tener una proporcionalidad con las Potencias a desarrollar de las cajas reductoras



Observación I: El diseño geométrico cercano a relación 30/1 es la portante y con ella se dimensiona los espesores de caja y los Rodamientos del reductor.

(J)

Ancho de la corona

Será en función del par de mayor módulo

Observación J: Se tomará en cuenta igual al df_2 para su mejor apoyo y capacidad portante y no malgastar bronce y su costo.

