

## ANEXOS

### ANEXO A: Cálculo analítico del ángulo de giro del piñón a partir de la posición de engrane.

La generación del modelo geométrico de la pareja de engrane a simular, en el algoritmo automatizado, requiere como entrada el ángulo de giro del piñón, donde dicho ángulo se determina a partir de la posición de engrane. El procedimiento realizado para la obtención del ángulo en cuestión se plasma en las siguientes líneas.

#### A.1. Ángulo de contacto global.

El ángulo de contacto global ( $\theta_2$ ) representa el ángulo comprendido desde la línea de centros de los engranajes hasta la posición de contacto. En la Figura A-1, se observa una relación entre la posición de contacto (1) y la posición  $x_{le\_max}$  a partir de la posición de engrane ( $p_{eng}$ ), como se muestra en la ecuación (A 1.1).

$$(x_{le\_max} - x_1)^2 + (y_{le\_max} - y_1)^2 = (p_{eng})^2 \quad (A 1.1)$$

Debido a que el lugar geométrico de todos los puntos en contacto de la pareja de engrane es una recta de pendiente  $m = -\tan(\alpha'_t)$  y  $b = d'_1/2$ , la ecuación anterior se reduce a la expresión (A 1.2). Para luego, a partir de esta última obtener la posición del punto de contacto como se muestra en la ecuación (A 1.3).

$$(x_{le\_max} - x_1)^2 + (m \cdot x_{le\_max} + b - m \cdot x_1 - b)^2 = (p_{eng})^2 \quad (A 1.2)$$

$$x_1 = x_{le\_max} - \frac{p_{eng}^2}{\sqrt{m^2 + 1}} \tag{A 1.3}$$

Finalmente, el ángulo de contacto global se obtiene con la posición del punto de contacto mostrado en la ecuación (A 1.3). La expresión (A 1.4) representa al ángulo de contacto global para cualquier punto sobre la línea de engrane.

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{x_1}{m \cdot x_1 + b}\right) \tag{A 1.4}$$

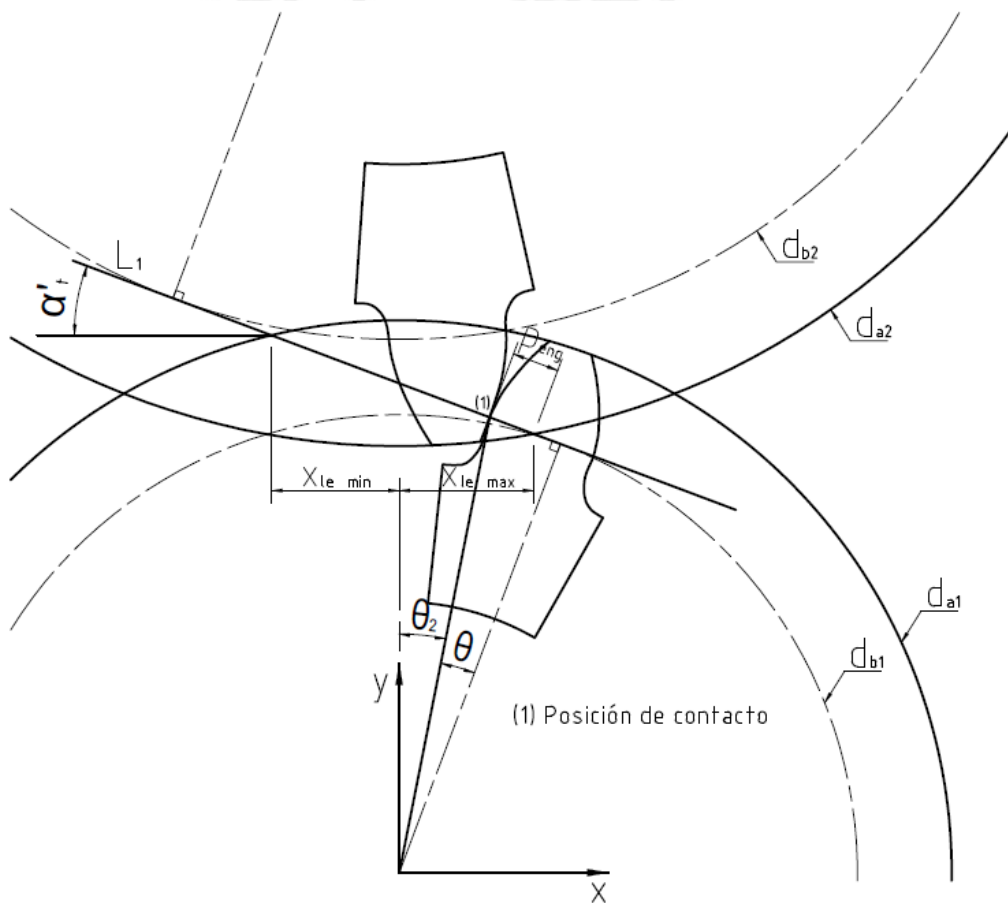


Figura A-1: Esquema del ángulo de contacto global

## A.2. Ángulo de contacto del diente.

El ángulo de contacto del diente ( $\theta_3$ ) representa al ángulo comprendido entre el eje de simetría del diente y la posición de contacto. De la Figura A-2, se deduce la expresión analítica (A 1.5) que representa al ángulo en cuestión.

$$\theta_3 = \frac{e}{d} + \text{inv}(\alpha_t) - \text{inv}(\theta); \text{ donde } e = \frac{m}{\cos \beta} \left( \frac{\pi}{2} + 2 \cdot x \cdot \tan \alpha \right) \quad (\text{A } 1.5)$$

Además, se conocen las relaciones (A 1.6), (A 1.7) y (A 1.8), las cuales permiten resolver la ecuación (A 1.5).

$$\theta_2 + \theta = \alpha'_t \rightarrow \theta = \alpha'_t - \theta_2 \quad (\text{A } 1.6)$$

$$\text{inv}(\alpha_t) = \tan(\alpha_t) - \alpha_t \quad (\text{A } 1.7)$$

$$\text{inv}(\theta) = \tan(\theta) - \theta \quad (\text{A } 1.8)$$

Luego de determinar el ángulo de contacto del diente se pasa a calcular el ángulo de giro del piñón ( $\phi$ ), el cual se obtiene a partir de la suma del ángulo de contacto global y el ángulo de contacto del diente como se muestra en la ecuación (A 1.9). Es importante mencionar que para efectos de la macro se debe anteponer un signo negativo al resultado alcanzado en el ángulo del piñón, pues el algoritmo automatizado entiende como negativo a cualquier ángulo anterior al eje de coordenadas “y”; y al tener el piñón, en nuestro caso, un sentido de giro antihorario, el inicio del contacto se da efectivamente en un ángulo anterior al eje de coordenadas “y”.

$$\phi = -(\theta_3 + \theta_2) \quad (\text{A } 1.9)$$

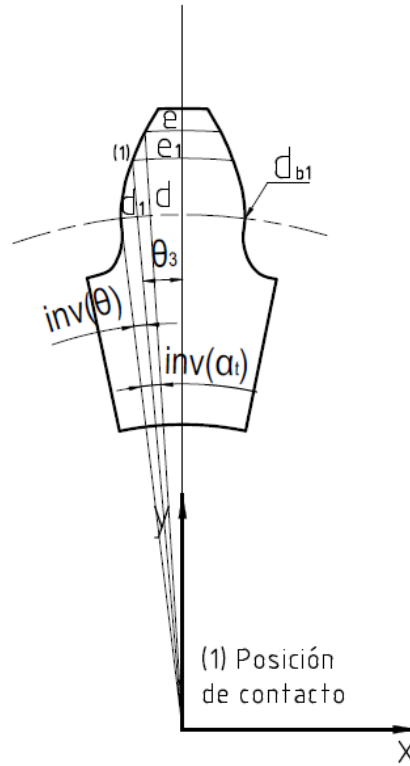


Figura A-2: Esquema del ángulo de contacto del diente

## ANEXO B: Elaboración de las curvas a partir de la simulación de múltiples variantes.

La simulación de múltiples variantes fue realizada con el único objetivo en mente de elaborar curvas que permitan obtener el factor geométrico unificado de forma directa a partir de las mismas. Dicho esto, para efectos de comprensión del origen de las curvas entregadas en la tesis, se describen, en las siguientes líneas, las consideraciones tomadas, así como, el cálculo analítico.

### B.1. Consideraciones generales.

En un inicio, debido a que no se tenía una idea clara de como iban a ser conformadas las curvas, se intentó construirlas en un solo gráfico a partir de las 5 variables que caracteriza a cada pareja de engrane, las cuales son mostradas en la Tabla B-1. Sin embargo, esta idea resultó inviable, pues el comportamiento de las mismas no presentaba tendencia alguna solo una conducta aleatoria. Seguidamente, se pensó varias posibilidades para plotear los factores unificados, en un diagrama, a partir de una porción de las variables en cuestión, obteniendo un comportamiento adecuado cuando el número de dientes del piñón se encuentra en el eje horizontal de la parte inferior; el número de dientes del engranaje, en el eje horizontal de la parte superior; y el factor geométrico unificado, en el eje vertical como se muestra en la Figura B-1. Es importante mencionar que el factor geométrico unificado se esboza, en la gráfica, sobre la línea que une al número de dientes del piñón con el número de dientes del engranaje, además, cada curva esquematizada representa un valor de ángulo de hélice. Finalmente, solo comentar que la gamma de curvas fue realizada para los factores de corrección 0, 0.25 y 0.50.

Tabla B-1: Variables características de cada pareja de engrane

Variables características	
$z_1$	Número de dientes del piñón.
$z_2$	Número de dientes del engranaje.
$x_1$	Factor de corrección del piñón.
$x_2$	Factor de corrección del engranaje.
$\beta(^{\circ})$	Ángulo de hélice.

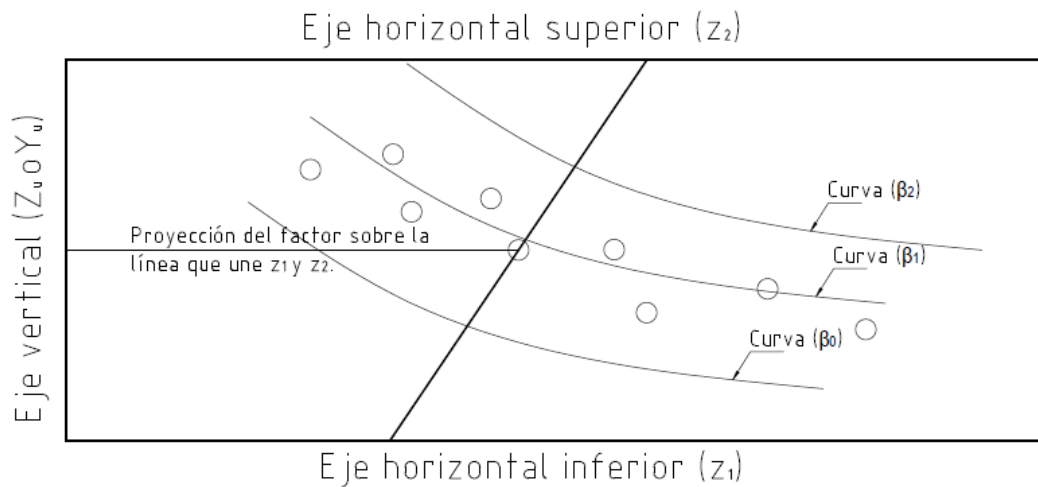


Figura B-1: Esquema de curvas del factor geométrico unificado

## B.2. Cálculo analítico.

En las siguientes líneas, se describe la metodología de cálculo empleada para la elaboración de las curvas que permiten obtener el factor geométrico unificado, independientemente sea el factor de esfuerzo de contacto o de esfuerzo de flexión. Primero, se establecen los límites geométricos de las curvas a esquematizar en cada uno de los 3 ejes, los cuales están vinculados a dos variables características ( $z_1$ ,  $z_2$ ) y al factor geométrico unificado ( $Z_U$  o  $Y_U$ ) del juego de engrane. Las variables que representan a los límites geométricos de las curvas son mostradas en la Tabla B-2.

Tabla B-2: Límites geométricos de las curvas

Variable	Límite mayor	Límite menor
$z_1$	$x_a$	$x_e$
$z_2$	$x_a$	$x_e$
$Z_U$ o $Y_U$	$y_a$	$y_e$

De la Figura B-2, se deduce la relación analítica mostrada en la ecuación (B 1.1).

$$\frac{(z_2 - z_1)}{a_1} = \frac{x_{rel}}{a_2} \quad (B 1.1)$$

Además, con ayuda de las ecuaciones (B 1.2) y (B 1.3), la relación analítica (B 1.1) se reduce a la expresión (B 1.4).

$$a_1 = y_a - y_e \tag{B 1.2}$$

$$a_2 = Z_U - y_e \text{ ó } a_2 = Y_U - y_e \tag{B 1.3}$$

$$x_{rel} = \frac{(Z_U - y_e) \cdot (z_2 - z_1)}{(y_a - y_e)} \text{ ó } x_{rel} = \frac{(Y_U - y_e) \cdot (z_2 - z_1)}{(y_a - y_e)} \tag{B 1.4}$$

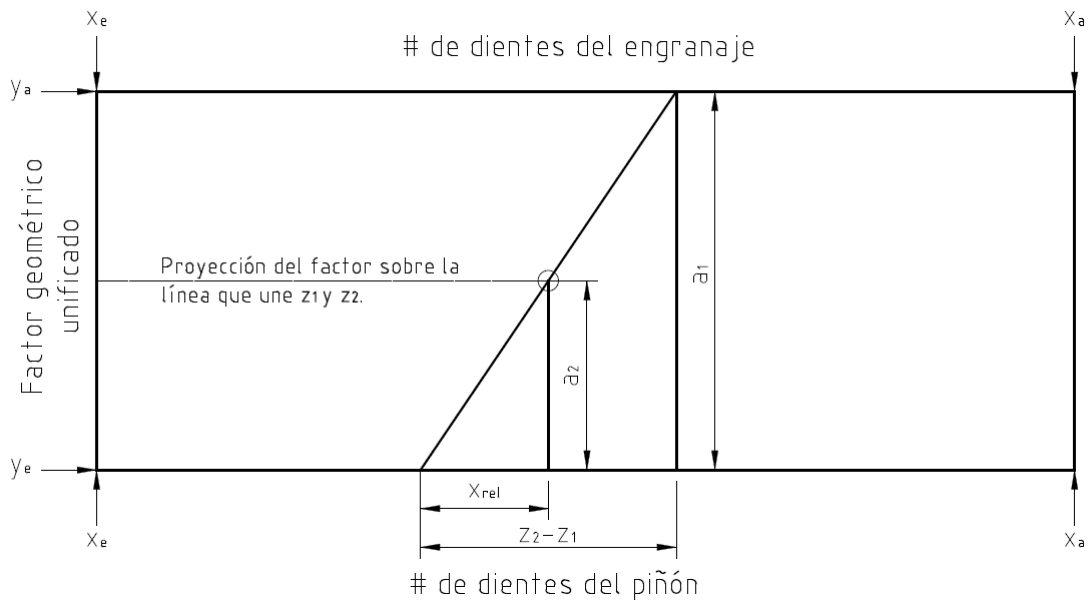


Figura B-2: Esquema para la elaboración de curvas

Finalmente, las ecuaciones (B 1.5) y (B 1.6) representan las posiciones absolutas del factor geométrico unificado necesarias al momento de esbozar, en la gráfica, dicho factor.

$$x_{abs} = z_1 + x_{rel} \tag{B 1.5}$$

$$y_{abs} = Z_U \text{ ó } Y_U \tag{B 1.6}$$

Una consideración adicional a lo ya mencionado, en líneas anteriores, es que luego de plotear todos los puntos de la curva en cuestión, se realiza una regresión logarítmica como se visualiza en la Figura B-3.

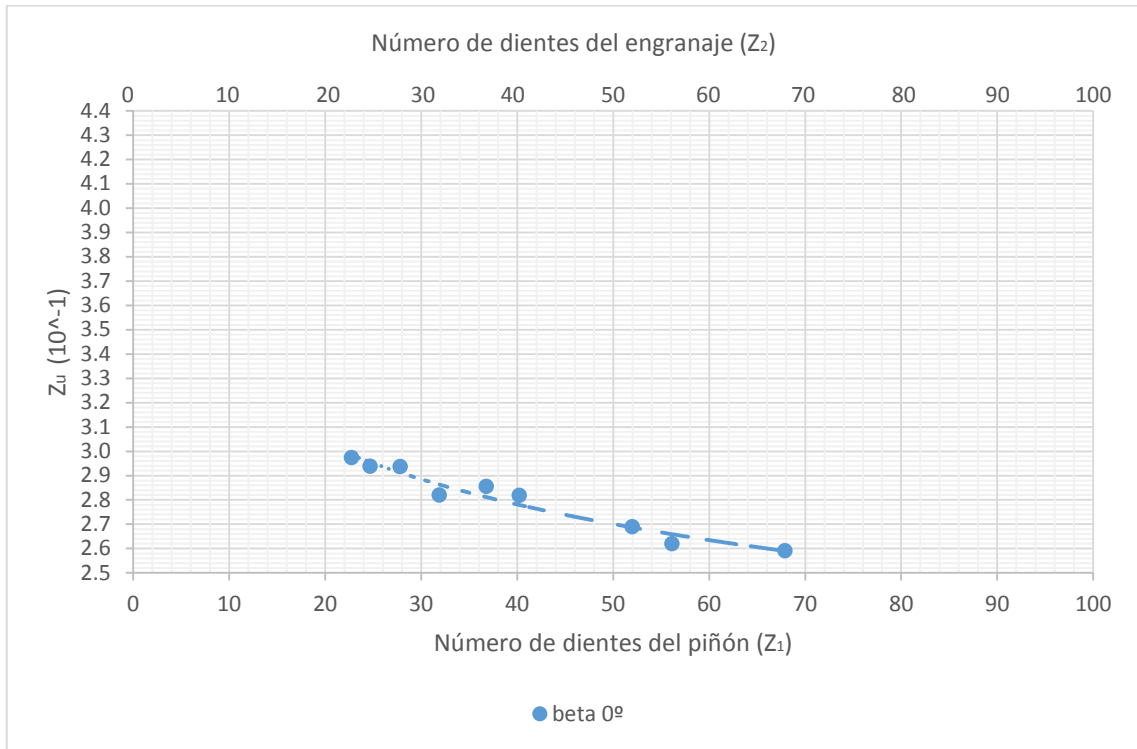


Figura B-3: Regresión logarítmica



**ANEXO C: Curvas del factor geométrico unificado.**

**C.1. Factor geométrico unificado para esfuerzo de contacto.**

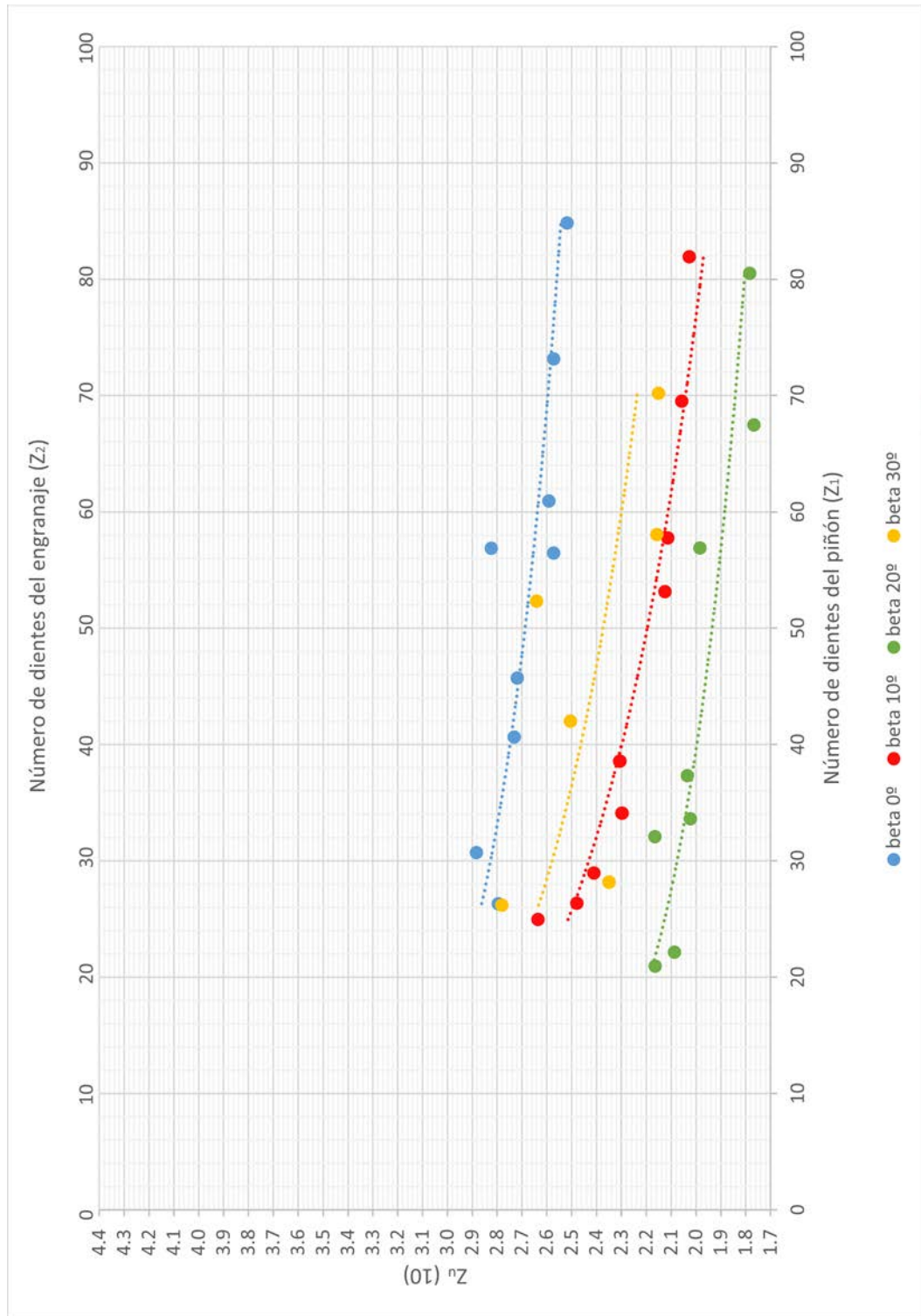


Figura C-1: Factor geométrico unificado para esfuerzo de contacto ( $x_1=0.25$ ,  $x_2=0.25$ )

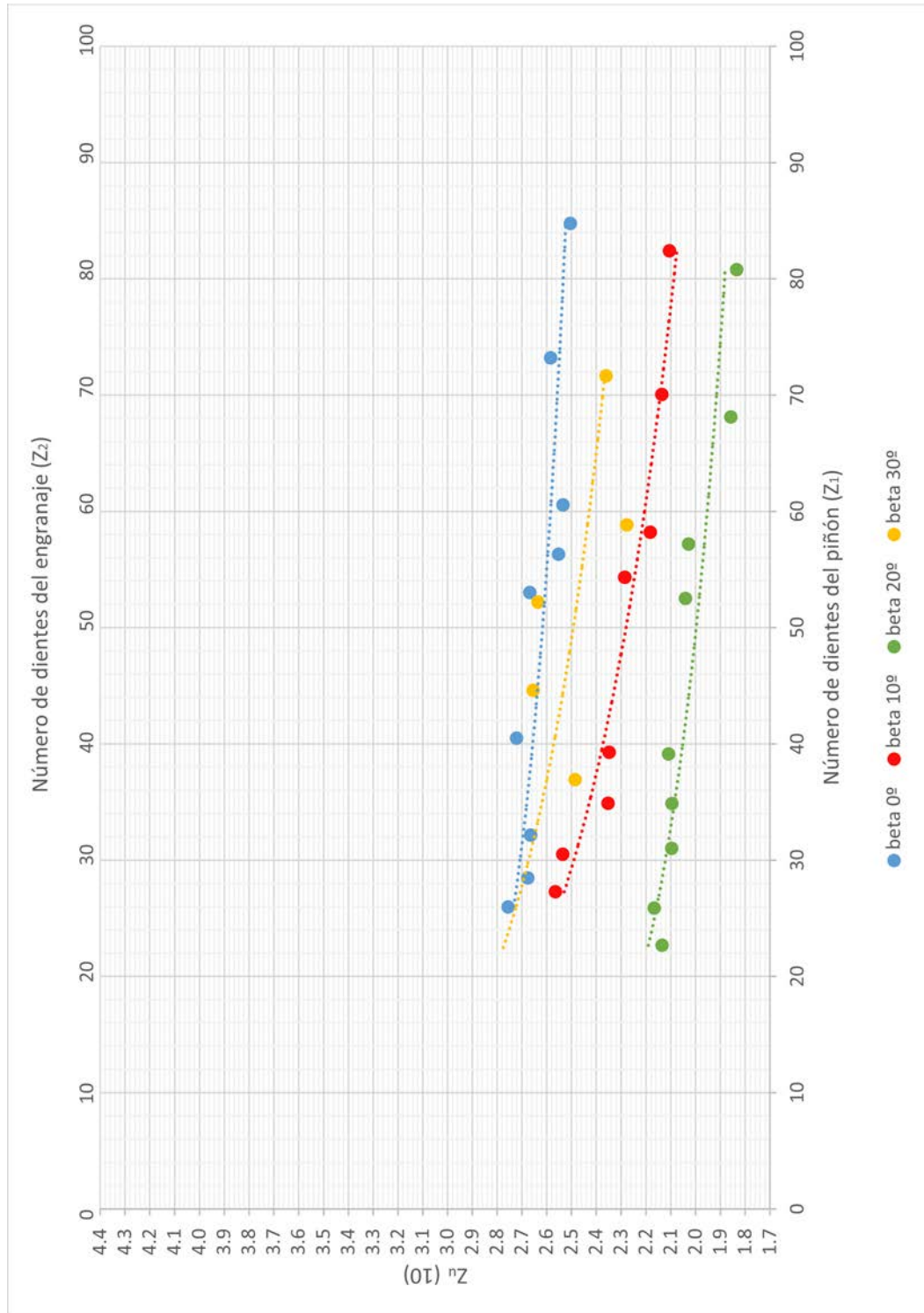


Figura C-2: Factor geométrico unificado para esfuerzo de contacto ( $x_1=0.50$ ,  $x_2=0.50$ )

C.2. Factor geométrico unificado para esfuerzo de flexión.

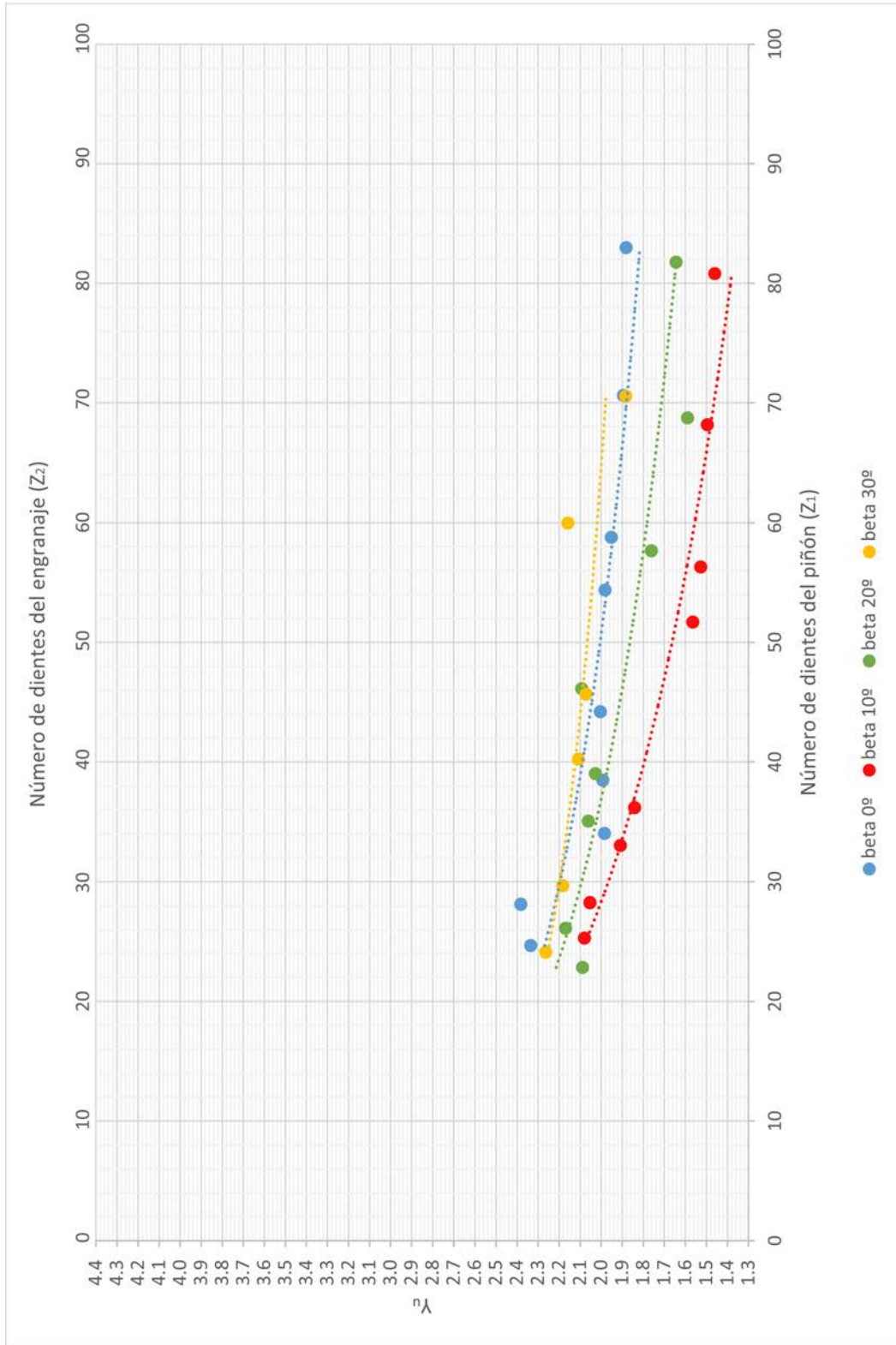


Figura C-3: Factor geométrico unificado para esfuerzo de flexión ( $x_1=0.25$ ,  $x_2=0.25$ )

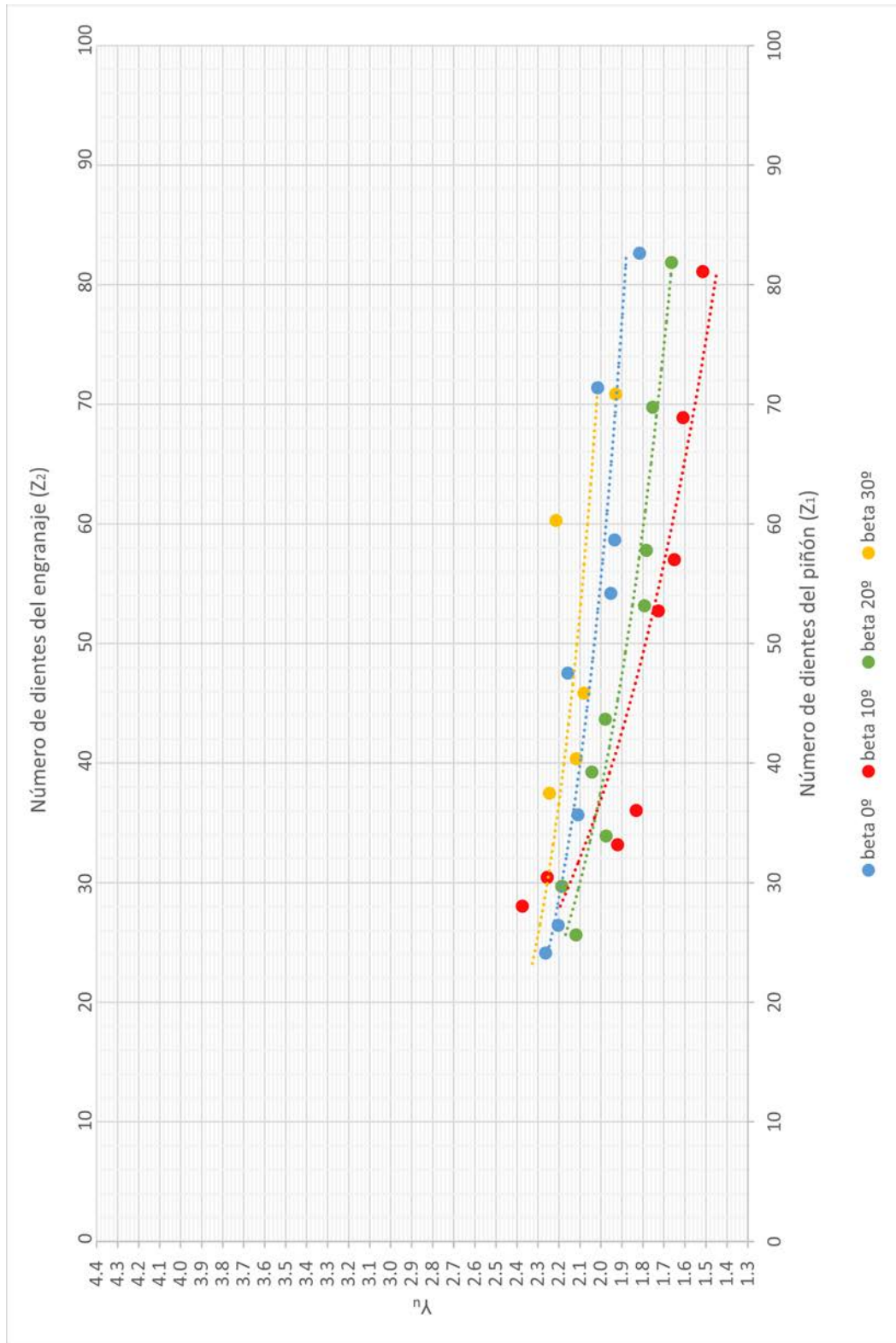


Figura C-4: Factor geométrico unificado para esfuerzo de flexión ( $x_1=0.50$ ,  $x_2=0.50$ )

### ANEXO D: Tablas de resultados.

Todas las curvas elaboradas en la tesis fueron realizadas a partir de los resultados obtenidos tanto de forma analítica como los entregados por simulación. En el presente anexo, se plasman dichos resultados en tablas, de tal manera se fundamente el origen de las curvas.

Tabla D-1: Radio reducido en función de la variable  $x_{le}$

Diente Helicoidal		Diente Recto	
$x_{le}$ (mm)	$\rho_{red}$ (mm)	$x_{le}$ (mm)	$\rho_{red}$ (mm)
2,07	0,70	1,49	3,03
1,50	1,18	1,25	3,19
1,00	1,55	1,00	3,36
0,50	1,86	0,50	3,68
0,00	2,13	0,00	3,97
-0,50	2,34	-0,50	4,23
-1,00	2,49	-1,00	4,47
-1,50	2,60	-1,50	4,68
-2,00	2,65	-2,00	4,86
-2,50	2,65	-2,30	4,96
-2,58	2,64	-2,93	5,13

Tabla D-2: Longitud de contacto sumaria en función de la posición de engrane ( $p_{eng}$ )

Diente Helicoidal			Diente Recto		
$p_{eng}$ (mm)	$l_{\Sigma}$ (mm)	NDC	$p_{eng}$ (mm)	$l_{\Sigma}$ (mm)	NDC
(IC) 0,00	15,78	3	(IC) 0,00	20	2
0,34	15,78	3	0,33	20	2
0,68	15,78	3	0,66	20	2
1,01	15,78	3	0,98	20	2
(FC) 1,33	15,78	3	1,31	20	2
1,35	15,87	2	1,64	20	2
1,69	17,26	2	(FC) 1,78	20	2
2,03	17,98	2	1,97	10	1
2,37	17,98	2	2,30	10	1
2,71	17,17	2	2,62	10	1
( $p_{bt}$ ) 3,04	15,78	3	( $p_{bt}$ ) 2,95	20	2

IC: Inicio de contacto.  
 FC: Fin de contacto.  
 NDC: Número de dientes en contacto.

Tabla D-3: Esfuerzo de contacto en función del ángulo de giro del piñón

Diente Helicoidal			Diente Recto		
$\phi$ (°)	$\sqrt{\frac{1}{\rho_{red}}}$	$\sqrt{\frac{1}{l_{\Sigma} \cdot \rho_{red}}}$	$\phi$ (°)	$\sqrt{\frac{1}{\rho_{red}}}$	$\sqrt{\frac{1}{l_{\Sigma} \cdot \rho_{red}}}$
-19,83	1,193	1,193	-10,38	0,575	0,575
-17,61	1,009	1,009	-9,00	0,556	0,556
-15,39	0,898	0,898	-7,62	0,539	0,539
-13,17	0,823	0,823	-6,24	0,525	0,525
-11,10	0,772	0,772	-4,86	0,512	0,512
-10,94	0,769	0,767	-3,48	0,501	0,501
-8,72	0,729	0,697	-2,89	0,496	0,496
-6,50	0,698	0,653	-2,10	0,491	0,694
-4,28	0,673	0,631	-0,72	0,482	0,682
-2,06	0,655	0,628	0,65	0,474	0,670
0,17	0,640	0,640	2,03	0,467	0,467
2,39	0,629	0,629	3,41	0,461	0,461
4,61	0,621	0,621	4,79	0,456	0,456
6,83	0,616	0,616	6,17	0,451	0,451
8,90	0,614	0,614	7,55	0,447	0,447
9,06	0,614	0,612	8,93	0,443	0,443
11,28	0,614	0,587	9,52	0,441	0,441
12,42	0,615	0,576	-	-	-

$\phi$ : Ángulo de giro del piñón.

Tabla D-4: Esfuerzo de flexión en función del ángulo de giro del piñón

Diente Helicoidal			Diente Recto		
$\phi$ (°)	$r_{hs}$	$\frac{r_{hs}}{l_{\Sigma}}$	$\phi$ (°)	$r_{hs}$	$\frac{r_{hs}}{l_{\Sigma}}$
-19,83	0,117	0,117	-10,38	0,024	0,024
-17,61	0,117	0,117	-9,00	0,033	0,033
-15,39	0,120	0,120	-7,62	0,046	0,046
-13,17	0,125	0,125	-6,24	0,059	0,059
-11,10	0,133	0,133	-4,86	0,074	0,074
-10,94	0,133	0,132	-3,48	0,090	0,090
-8,72	0,144	0,132	-2,89	0,098	0,098
-6,50	0,157	0,138	-2,10	0,109	0,218
-4,28	0,173	0,152	-0,72	0,130	0,260
-2,06	0,194	0,179	0,65	0,152	0,305
0,17	0,219	0,219	2,03	0,177	0,177
2,39	0,245	0,245	3,41	0,204	0,204
4,61	0,275	0,275	4,79	0,232	0,232
6,83	0,310	0,310	6,17	0,262	0,262
8,90	0,345	0,345	7,55	0,295	0,295
9,06	0,348	0,346	8,93	0,329	0,329
11,28	0,390	0,356	9,52	0,344	0,344
12,42	0,412	0,362	-	-	-

Tabla D-5: Resultados de la simulación en varias posiciones - Esfuerzo de contacto

Diente Helicoidal				Diente Recto			
$p_{eng}$ (mm)	$\phi$ (°)	$\sigma_{CP}$ (MPa)	$\sigma_{CE}$ (MPa)	$p_{eng}$ (mm)	$\phi$ (°)	$\sigma_{CP}$ (MPa)	$\sigma_{CE}$ (MPa)
(IC) 0,00	-19,83	22,70	22,67	(IC) 0,00	-10,38	22,17	22,16
0,34	-17,61	24,06	24,10	0,33	-9,00	17,74	17,75
0,68	-15,39	23,98	24,05	0,66	-7,62	16,88	16,84
1,01	-13,17	24,83	24,83	0,98	-6,24	17,83	17,82
(FC) 1,33	-11,10	23,39	23,39	1,31	-4,86	17,71	17,73
1,35	-10,94	23,48	23,46	1,64	-3,48	17,85	17,92
1,69	-8,72	22,06	22,06	(FC) 1,78	-2,89	21,31	21,24
2,03	-6,50	20,80	20,80	1,97	-2,10	28,20	28,29
2,37	-4,28	20,83	20,93	2,30	-0,72	27,99	28,00
2,71	-2,06	21,16	21,16	2,62	0,65	28,03	28,05
( $p_{bt}$ ) 3,04	0,17	22,70	22,67	( $p_{bt}$ ) 2,95	2,03	22,17	22,16

$\sigma_{CP}$ : Esfuerzo de contacto – Piñón.  
 $\sigma_{CE}$ : Esfuerzo de contacto – Engranaje.

Tabla D-6: Resultados de la simulación en varias posiciones - Esfuerzo de flexión

Diente Helicoidal				Diente Recto			
$p_{eng}$ (mm)	$\phi$ (°)	$\sigma_{FP}$ (MPa)	$\sigma_{FE}$ (MPa)	$p_{eng}$ (mm)	$\phi$ (°)	$\sigma_{FP}$ (MPa)	$\sigma_{FE}$ (MPa)
(IC) 0,00	-19,83	6,83	6,94	(IC) 0,00	-10,38	6,44	6,11
0,34	-17,61	7,92	7,65	0,33	-9,00	5,56	7,21
0,68	-15,39	8,26	7,24	0,66	-7,62	4,76	6,33
1,01	-13,17	9,35	7,93	0,98	-6,24	6,28	7,15
(FC) 1,33	-11,10	9,05	6,98	1,31	-4,86	6,22	7,11
1,35	-10,94	9,02	6,99	1,64	-3,48	6,33	7,08
1,69	-8,72	9,11	6,12	(FC) 1,78	-2,89	6,90	8,82
2,03	-6,50	8,08	6,11	1,97	-2,10	9,98	12,40
2,37	-4,28	6,93	6,42	2,30	-0,72	10,65	11,54
2,71	-2,06	7,45	6,50	2,62	0,65	11,31	10,68
( $p_{bt}$ ) 3,04	0,17	6,83	6,94	( $p_{bt}$ ) 2,95	2,03	6,44	6,11

$\sigma_{FP}$ : Esfuerzo de flexión – Piñón.  
 $\sigma_{FE}$ : Esfuerzo de flexión – Engranaje.

Tabla D-7: Factor geométrico unificado para esfuerzo de contacto ( $x_1=0.0$ ,  $x_2=0.0$ )

$z_1$	$z_2$	$\beta(^{\circ})$	$\sigma_{MEF-C \max} (MPa)$	$Z_U (10)$
17	40	0	34,94	2,97
18	47	0	32,12	2,94
29	96	0	18,55	2,82
55	73	0	10,55	2,62
67	86	0	8,63	2,59
20	54	0	28,76	2,94
25	66	0	22,15	2,82
28	75	0	19,99	2,86
50	70	0	11,78	2,69
17	40	10	26,97	2,33
18	47	10	26,15	2,43
29	96	10	13,24	2,04
55	73	10	8,14	2,05
67	86	10	6,62	2,02
25	66	10	17,65	2,28
28	75	10	15,24	2,21
50	70	10	8,78	2,04
17	40	20	24,23	2,20
18	47	20	22,07	2,15
29	96	20	13,75	2,22
55	73	20	6,61	1,75
67	86	20	4,84	1,55
25	66	20	16,68	2,26
28	75	20	14,47	2,20
50	70	20	8,05	1,96
80	96	20	4,68	1,76
18	47	30	21,94	2,32
55	73	30	7,28	2,09
67	86	30	6,14	2,13
20	54	30	19,59	2,31
25	66	30	16,07	2,36
28	75	30	15,01	2,48
50	70	30	9,16	2,42
80	96	30	4,72	1,93

El momento torsor aplicado en el piñón de las parejas de engrane es de 400 Nmm.



Tabla D-8: Factor geométrico unificado para esfuerzo de contacto ( $x_1=0.25$ ,  $x_2=0.25$ )

$z_1$	$z_2$	$\beta(^{\circ})$	$\sigma_{MEF-C \max} (MPa)$	$Z_U (10)$
17	40	0	32,30	2,79
18	47	0	31,06	2,88
29	96	0	18,44	2,82
55	73	0	10,36	2,59
67	86	0	8,51	2,57
25	66	0	21,23	2,73
28	75	0	18,86	2,72
50	70	0	11,18	2,57
80	96	0	7,09	2,52
17	40	10	30,00	2,64
18	47	10	26,30	2,48
55	73	10	8,32	2,11
67	86	10	6,71	2,06
20	54	10	22,95	2,41
25	66	10	17,60	2,30
28	75	10	15,76	2,31
50	70	10	9,10	2,13
80	96	10	5,62	2,03
17	40	20	23,52	2,16
18	47	20	21,14	2,09
29	96	20	12,50	2,03
55	73	20	7,46	1,98
67	86	20	5,50	1,77
25	66	20	15,83	2,17
28	75	20	13,19	2,02
80	96	20	4,72	1,78
17	40	30	27,88	2,78
29	96	30	14,95	2,64
55	73	30	7,48	2,16
67	86	30	6,17	2,15
20	54	30	19,70	2,35
28	75	30	15,06	2,50

El momento torsor aplicado en el piñón de las parejas de engrane es de 400 Nmm.

Tabla D-9: Factor geométrico unificado para esfuerzo de contacto ( $x_1=0.50$ ,  $x_2=0.50$ )

$z_1$	$z_2$	$\beta(^{\circ})$	$\sigma_{MEF-C \max}$ (MPa)	$Z_U$ (10)
17	40	0	31,37	2,76
18	47	0	28,45	2,68
29	96	0	17,30	2,67
55	73	0	10,05	2,53
67	86	0	8,50	2,58
20	54	0	25,46	2,66
25	66	0	20,95	2,72
50	70	0	11,00	2,55
80	96	0	7,01	2,50
18	47	10	26,85	2,56
55	73	10	8,53	2,18
67	86	10	6,92	2,14
20	54	10	23,85	2,53
25	66	10	17,84	2,35
28	75	10	15,90	2,35
50	70	10	9,70	2,28
80	96	10	5,81	2,11
18	47	20	21,36	2,14
29	96	20	12,86	2,11
55	73	20	7,57	2,03
67	86	20	5,75	1,86
20	54	20	19,47	2,17
25	66	20	15,18	2,10
28	75	20	13,55	2,10
50	70	20	8,27	2,04
80	96	20	4,83	1,83
29	96	30	14,82	2,64
55	73	30	7,84	2,28
67	86	30	6,73	2,36
25	66	30	16,61	2,49
28	75	30	15,84	2,65

El momento torsor aplicado en el piñón de las parejas de engrane es de 400 Nmm.

Tabla D-10: Factor geométrico unificado para esfuerzo de flexión ( $x_1=0.0$ ,  $x_2=0.0$ )

$z_1$	$z_2$	$\beta(^{\circ})$	$\sigma_{MEF-F\ max} (MPa)$	$Y_U$
17	40	0	11,91	2,53
18	47	0	10,73	2,41
29	96	0	5,73	2,08
55	73	0	3,02	2,08
67	86	0	2,44	2,04
20	54	0	9,58	2,39
25	66	0	6,96	2,17
28	75	0	6,06	2,12
50	70	0	3,39	2,12
80	96	0	2,01	2,01
17	40	10	11,00	2,37
18	47	10	10,08	2,30
29	96	10	4,38	1,61
55	73	10	2,21	1,54
67	86	10	1,64	1,39
25	66	10	5,75	1,83
28	75	10	4,79	1,70
50	70	10	2,50	1,59
17	40	20	10,16	2,30
18	47	20	9,71	2,32
29	96	20	5,09	1,96
55	73	20	2,47	1,81
67	86	20	1,91	1,70
20	54	20	7,64	2,03
25	66	20	5,57	1,85
28	75	20	5,19	1,93
50	70	20	2,73	1,82
80	96	20	1,51	1,61
18	47	30	8,47	2,20
55	73	30	2,60	2,06
67	86	30	1,89	1,83
20	54	30	6,85	1,98
25	66	30	6,31	2,28
28	75	30	5,27	2,13
50	70	30	2,91	2,10
80	96	30	1,46	1,69

El momento torsor aplicado en el piñón de las parejas de engrane es de 400 Nmm.

Tabla D-11: Factor geométrico unificado para esfuerzo de flexión ( $x_1=0.25$ ,  $x_2=0.25$ )

$z_1$	$z_2$	$\beta(^{\circ})$	$\sigma_{MEF-F \max} (MPa)$	$Y_U$
17	40	0	10,81	2,34
18	47	0	10,43	2,38
29	96	0	5,49	2,00
55	73	0	2,82	1,95
67	86	0	2,25	1,89
25	66	0	6,28	1,98
28	75	0	5,64	1,99
50	70	0	3,14	1,98
80	96	0	1,87	1,88
18	47	10	8,97	2,08
55	73	10	2,17	1,53
67	86	10	1,75	1,50
20	54	10	7,99	2,05
25	66	10	5,95	1,91
28	75	10	5,13	1,84
50	70	10	2,44	1,56
80	96	10	1,43	1,46
17	40	20	9,09	2,09
18	47	20	8,94	2,17
29	96	20	5,39	2,09
55	73	20	2,39	1,76
67	86	20	1,77	1,59
25	66	20	6,14	2,06
28	75	20	5,40	2,03
80	96	20	1,54	1,64
17	40	30	9,09	2,26
29	96	30	4,92	2,07
55	73	30	2,70	2,16
67	86	30	1,94	1,88
20	54	30	7,47	2,18
28	75	30	5,17	2,11

El momento torsor aplicado en el piñón de las parejas de engrane es de 400 Nmm.

Tabla D-12: Factor geométrico unificado para esfuerzo de flexión ( $x_1=0.50$ ,  $x_2=0.50$ )

$z_1$	$z_2$	$\beta(^{\circ})$	$\sigma_{MEF-F \max} (MPa)$	$Y_U$
17	40	0	10,32	2,26
18	47	0	9,52	2,20
29	96	0	5,86	2,16
55	73	0	2,77	1,93
67	86	0	2,38	2,02
20	54	0	8,53	2,19
25	66	0	6,61	2,11
50	70	0	3,08	1,95
80	96	0	1,80	1,82
18	47	10	10,11	2,37
55	73	10	2,33	1,65
67	86	10	1,87	1,61
20	54	10	8,67	2,25
25	66	10	5,93	1,92
28	75	10	5,06	1,83
50	70	10	2,68	1,73
80	96	10	1,48	1,51
18	47	20	8,61	2,12
29	96	20	5,06	1,98
55	73	20	2,40	1,78
67	86	20	1,94	1,75
20	54	20	8,02	2,18
25	66	20	5,82	1,97
28	75	20	5,39	2,04
50	70	20	2,65	1,79
80	96	20	1,55	1,66
29	96	30	4,90	2,08
55	73	30	2,75	2,21
67	86	30	1,97	1,93
25	66	30	6,11	2,25
28	75	30	5,15	2,12

El momento torsor aplicado en el piñón de las parejas de engrane es de 400 Nmm.