

KISSsoft AG - +41 55 254 20 50
 Uetzikon 4 - +41 55 254 20 51
 8634 Hombrechtikon - info@KISSsoft.AG
 Switzerland - www.KISSsoft.AG

KISSsoft Tutorial: Dimensionado de engranes cilíndricos

1 Ejercicio

1.1 Datos del ejercicio

Se pretende dimensionar un par de engranes cilíndricos que, para una duración de vida de 5,000 horas, puedan transmitir una potencia de 5 kW con un número de rotaciones operacional de 400 rpm (factor de utilización = 1.25). La relación de transmisión debe ser de 1:4 en reducción; las ruedas dentadas en material 18CrNiMo7-6. El par de engranes cilíndricos debe optimizarse con respecto a emisión de ruido / recubrimiento. La verificación de la resistencia se ejecuta según ISO 6336, Método B.

1.2 Arranque del cálculo de engranaje cilíndrico

Después de haber instalado y liberado KISSsoft en versión de prueba o en versión comercial, arranque el programa con “Inicio” ⇒ “Programas” ⇒ “KISSsoft 04-2010”. Aparecerá en pantalla la siguiente interfaz de usuario:

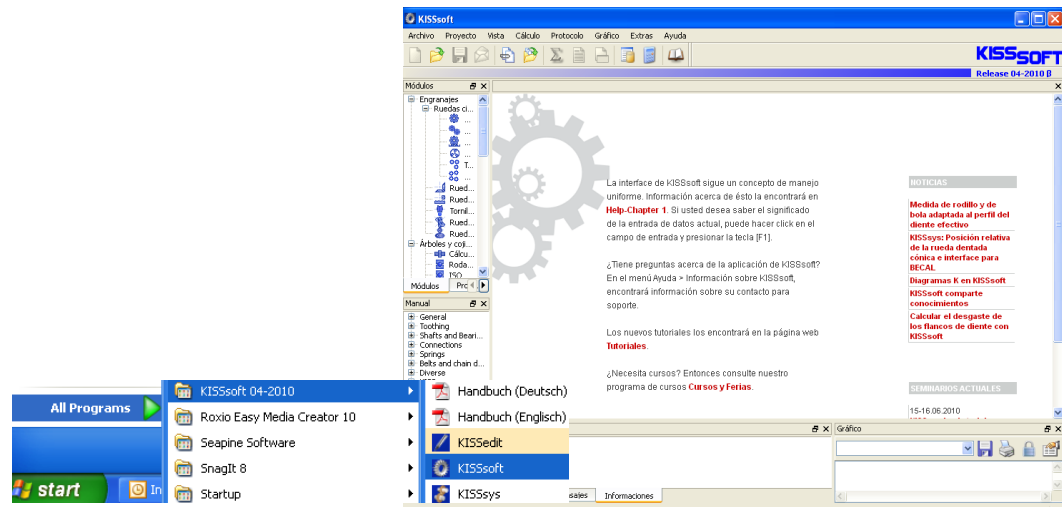


Figura 1.1 Arranque de KISSsoft – Ventana de inicio.

En la ventanilla “Módulos” elegir el cálculo “Engranaje cilíndrico”:

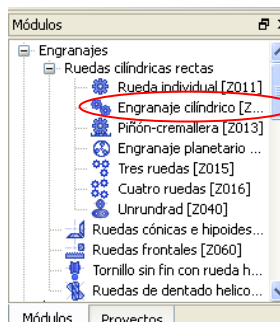


Figura 1.2 Selección de “Cálculo de un engranaje cilíndrico”.

Los tutoriales, explicados mediante pasos intermedios, pueden abrirse de las siguientes dos maneras: en el menú “Archivo” ⇒ “Abrir” ⇒ o bien en el árbol de “Proyectos” seleccionando “Cylindrical Gears” ⇒ “Tutorial-009-Step1”.

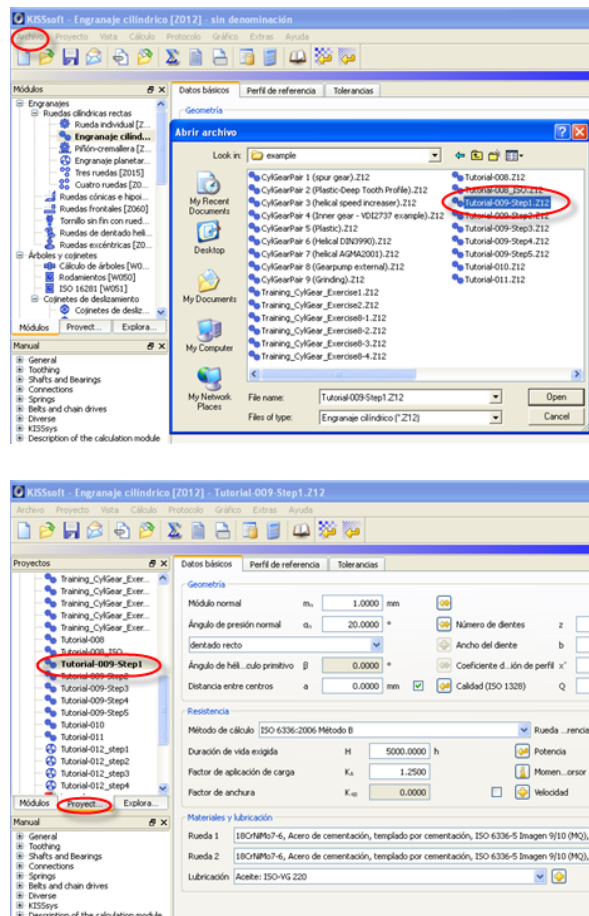
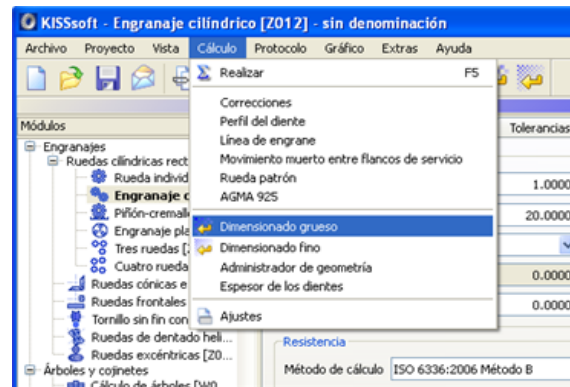


Figura 1.3 Opciones para la selección de los pasos intermedios de este tutorial

2 Dimensionado grueso para par de engranes cilíndricos

2.1 Selección del dimensionado grueso

El dimensionado grueso sugiere una primera propuesta para un dimensionado razonable del engranaje cilíndrico. Para llamar al dimensionado grueso ir al menú “Cálculo” ⇒ “Dimensionado grueso”.



Para acceder directamente a esta fase del cálculo, abrir el archivo “Tutorial-009-Step-1.Z12”

Figura 2.1 Selección del dimensionado grueso.

Fundamentalmente, es una base sobre la relación de transmisión deseada (incluyendo las tolerancias aceptables en porcentaje, aquí en 5%) y sobre la introducción de la potencia y del material a utilizar. Además, es también posible introducir el ángulo de hélice o la distancia entre centros deseada. El ángulo de hélice depende del tipo de soporte de los ejes; según la cantidad de esfuerzo axial que puedan aguantar los soportes, así podrá el ángulo de hélice ser mayor o menor. Posteriormente, se utilizará el dimensionado fino que permitirá entonces la optimización del ángulo de hélice. Aquí, en el dimensionado grueso, sólo debe indicarse el valor aproximado del ángulo de hélice, o bien cero para el dentado recto. En la máscara de introducción de datos “Dimensionado grueso” ⇒ “Limitar la geometría” obtenida, después de clic el botón “Detalles...”, pueden introducirse otros avances como, p. ej., el número de dientes del piñón, las relaciones dimensionales o la distancia entre centros.

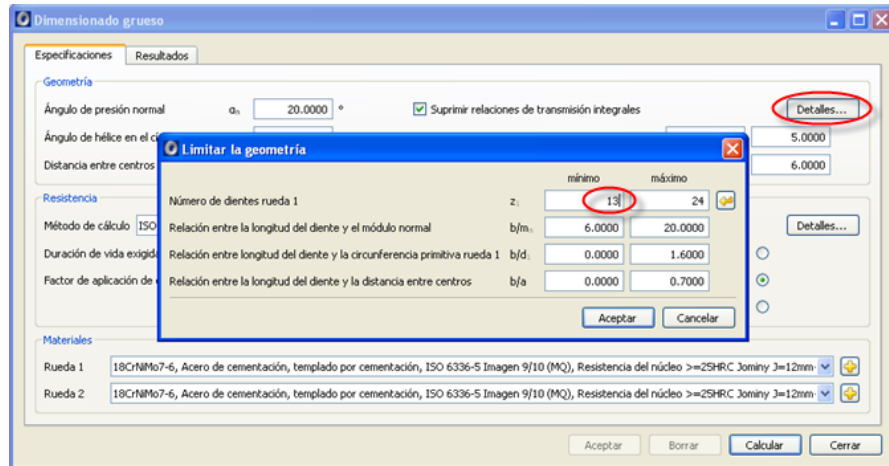


Figura 2.2 Dimensionado grueso – Introducción de datos “Limitar la geometría” ⇒ “Número de dientes rueda 1”.

La “seguridad” deseada puede introducirse en la máscara “Dimensionado grueso” ⇒ “Limitar la resistencia” haciendo clic el botón “Detalles...”.

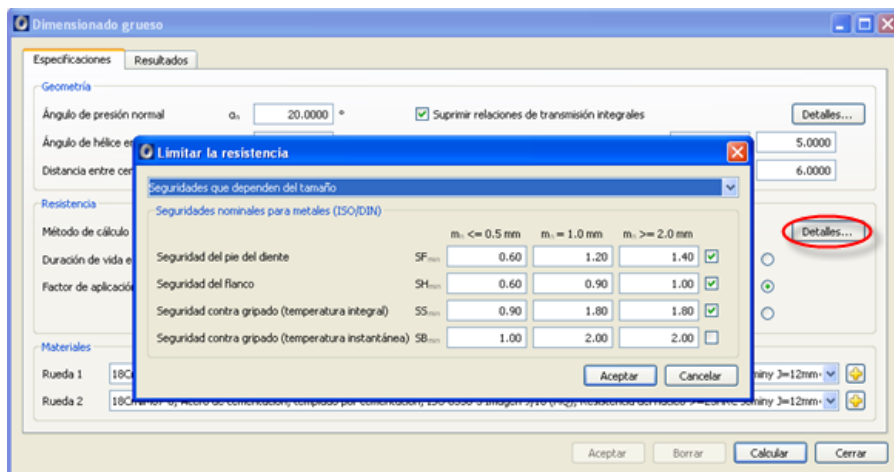


Figura 2.3 Dimensionado grueso – Introducción de datos “Limitar la resistencia” ⇒ Seguridades.

Haciendo clic en botón “Calcular”, KISSsoft calcula varias soluciones para un par de ruedas que corresponden a las condiciones introducidas.

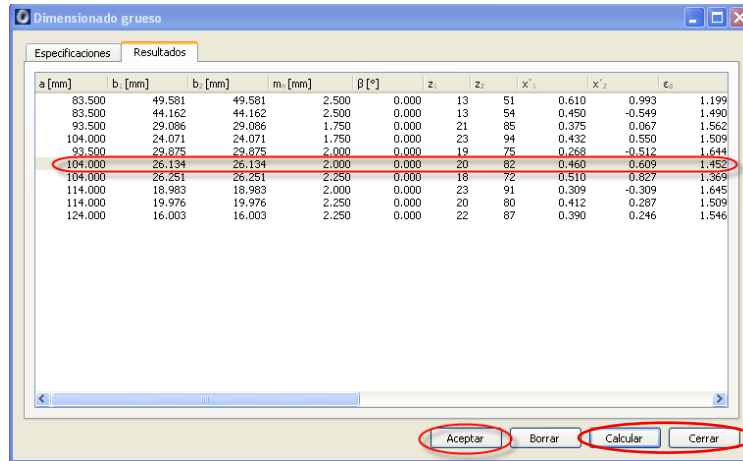
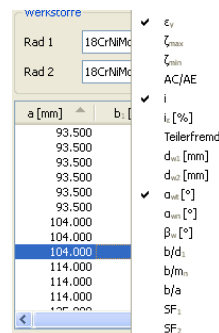


Figura 2.4 Lista de soluciones para las condiciones introducidas.

Los criterios utilizados en la lista de resultados, como distancia interaxial **a**, ancho **b**, etc., pueden seleccionarse con un clic con el botón derecho del ratón.



Para seleccionar una solución (en este caso, la distancia entre centros de 104 mm), hay que marcarla, hacer clic en los botones “Aceptar” y “Calcular”, finalmente, “Cerrar”.

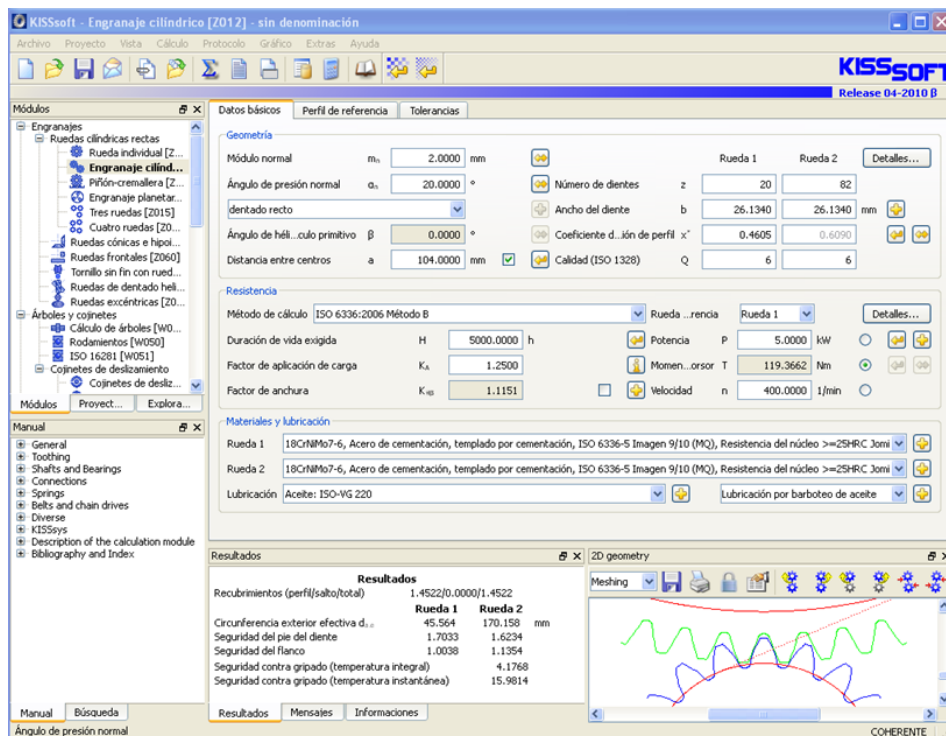


Figura 2.5 Módulo normal, número de dientes, ancho, desplazamiento de perfil y distancia interaxial propuesta por KISSsoft.

Para acceder directamente a esta fase del cálculo, puede abrir el archivo “Tutorial-009-Step-2.Z12”

2.2 Ajustes

Los valores propuestos, p. ej., para el ancho de rueda, pueden ajustarse manualmente: ancho del piñón a 28 mm y ancho de la rueda a 27 mm (introducir directamente en sus respectivos campos).

El perfil de referencia puede modificarse en la lista desplegable en la entrada “Perfil de referencia”.

Figura 2.6 Pestaña “Perfil de referencia” – Información respecto al perfil de referencia.

La corrección del perfil de la rueda 1 (el cálculo de la rueda 2 es dependiente del cálculo de la rueda 1) puede ajustarse como sigue: hacer clic en el botón para visualizar la máscara “Dimensionar los coeficientes de corrección del perfil” que contiene sugerencias para los diferentes coeficientes de corrección de perfil (ver Figura 2.7).

	Rueda 1	Rueda 2
Para deslizamiento específico óptimo	0.5008	0.5687
Para velocidad de deslizamiento mínima	0.2986	0.7708
Para máxima seguridad del pie	0.2770	0.7924
Para máxima seguridad del flanco	0.7280	0.3414
Para máxima seguridad contra gripado	0.4120	0.6574
Para la rueda 1 sin penetración y apuntalamiento en la cabeza (mín)	-0.1698	1.2392
Para la rueda 1 sin penetración y apuntalamiento en la cabeza (máx)	1.0440	0.0254
Para el límite de penetración por rueda	-0.1698	-3.7961
Para apuntalamiento por rueda	1.0440	2.5425

- * Diferentes métodos para dimensionar los factores de corrección de perfil.
- * Sugerecias razonables para los factores de corrección de perfil.
- * Valores máximos y mínimos (valores extremos sin penetración).

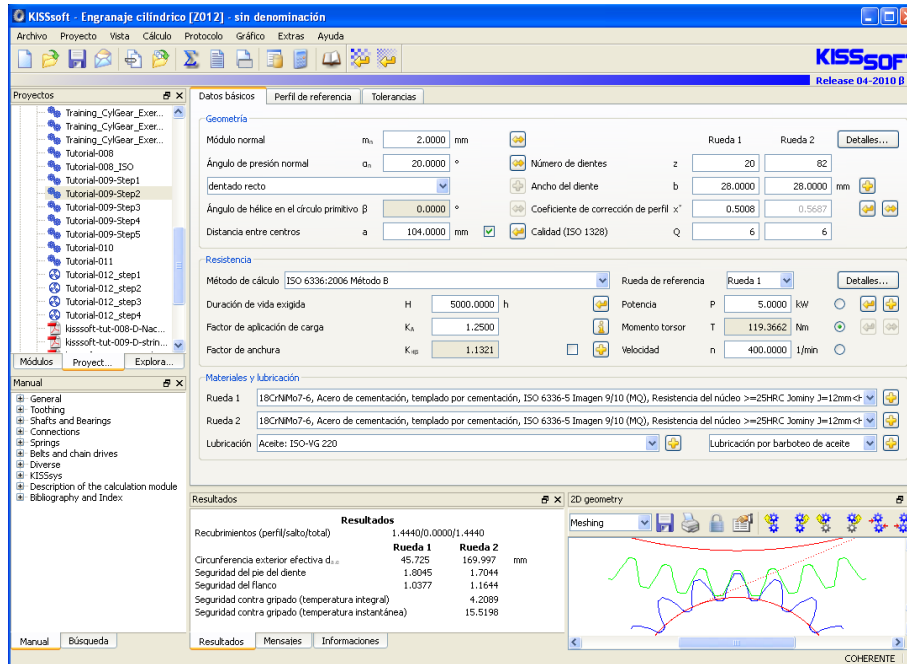
Figura 2.7 Dimensionado de los coeficientes de perfil.

Utilizando diferentes criterios, KISSsoft sugiere coeficientes de corrección de perfil. En este ejemplo trata de balancear el deslizamiento específico. Los botones de selección permiten elegir la sugerencia deseada, aceptarla haciendo clic en “Aceptar”.

El factor de corrección de perfil x , será entonces trasferido a la máscara de entradas, pestaña “Datos básicos” ⇒ “Geometría”.

Haciendo clic en el símbolo Σ “Ejecutar cálculo” de la barra de símbolos (o pulsando **F5**) se calcula la geometría completa, las seguridad del pie y del flanco, la seguridad antigripado y el recubrimiento resultante (ver Figura 2.8).

Los resultados deben presentarse como sigue (es posible que haya pequeñas desviaciones en los factores de corrección de perfil):



Para acceder directamente a esta fase del cálculo, abrir el archivo “Tutorial-009-Step-3.Z12”.

Figura 2.8 Desplazamiento de perfil corregido – Cálculo y visualización de los resultados

3 Dimensionado fino

3.1 Selección del dimensionado fino

Una vez definido, con el dimensionado grueso, un par de ruedas dentadas que puedan transmitir la potencia deseada, tendremos que optimizarlas respecto al ruido y a la resistencia. De la misma manera que se ha hecho para el dimensionado grueso, seleccionar ahora “Cálculo” ⇒ “Dimensionado fino” apareciendo la máscara “Dimensionado fino” (ver Figura 3.2), la cual permite la ejecución del dimensionado.

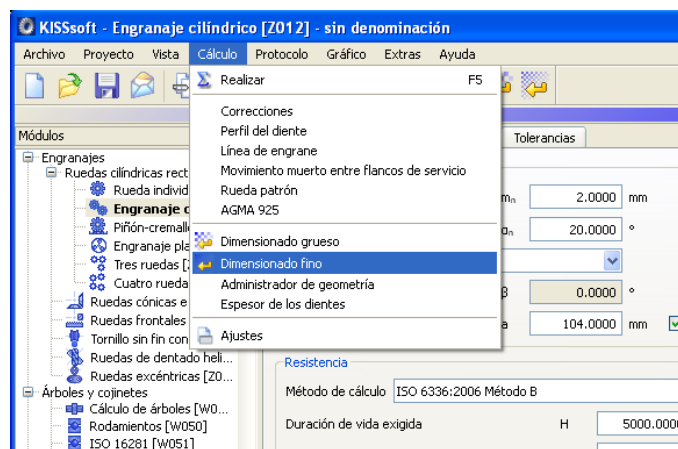


Figura 3.1 Selección del “Dimensionado fino”.

En la pestaña “**Especificaciones I**” podemos introducir los siguientes parámetros (también con una variedad de pasos definibles) para poder encontrar una solución.

The screenshot shows the 'Dimensionado fino' window with the following data:

		Minimo	Máximo	Paso
Número máximo de soluciones			300	
Transmisión teórica/desviación en %	i, i_c	4.0000	2.0000	
Módulo normal	m_n	1.5000	2.0000	0.2500
Ángulo de presión normal	α_n	20.0000	20.0000	1.0000
Ángulo de hélice en el círculo primitivo	β	5.0000	15.0000	5.0000
Distancia entre centros	a	104.0000	104.0000	0.0000
Margen para coeficiente de corrección de perfil	x^*	-0.6000	1.0000	

		Rueda 1	Rueda 2
Diámetro de la circunferencia de cabeza máximo	$d_{a, max}$	999999.0000	999999.0000
Diámetro de fondo	d_f, min	0.0000	0.0000
Guardar el número de dientes	z	0	0
Guardar el coeficiente de corrección de perfil	x^*	0.0000	0.0000

Figura 3.2 Introducción de datos – Dimensionado fino.

- (1) Introducir 300.
- (2) Datos para la relación de transmisión y desviación admisible.
- (3) Con los botones de dimensionado , KISSsoft sugiere límites razonables para los parámetros: “**Módulo normal**”, “**Ángulo de hélice**”, “**Distancia entre centros**” y “**Margen para coeficiente de corrección de perfil**”.
- (4) Selección de la distancia entre centros como fija o variable.

Además, es posible atribuir valores a los parámetros siguientes:

- Un límite superior para el diámetro de cabeza (círculo de cabeza),
- Un límite inferior para el diámetro de fondo (círculo de pie),
- El número de dientes de ambas ruedas (cuando es igual a 0, el número de dientes es variable).
- Fijar el coeficiente de corrección de perfil.

Una vez introducidos los parámetros para este ejemplo (ver Figura 3.2), hacer clic en el botón “**Calcular**” y aparecerá una lista con todas las soluciones encontradas (ver Figura 3.3). El objetivo de este ejercicio es el de conseguir una rueda con un ruido lo más optimizado posible. Ahora, los resultados pueden clasificarse según los criterios deseados, p. ej. Δc , para encontrar la mejor solución.

Con un doble clic en la solución seleccionada, o un clic en el botón “**Aceptar**” y “**Calcular**” los datos son aceptados y calculados. En el caso de que la solución encontrada no sea la mejor, puede elegirse otra hasta que se encuentre la solución óptima y se pueda cerrar la ventana. La solución adecuada para este ejemplo es la 31.

Nr.	a [mm]	m [mm]	α [°]	β [°]	z_1	z_2	x_1	x_2	ϵ_0	ϵ_1
25	104.000	1.500	20.000	15.000	26	106	0.441	0.614	1.468	
26	104.000	1.500	20.000	15.000	27	106	0.140	0.359	1.582	
27	104.000	1.500	20.000	15.000	27	106	0.240	0.259	1.566	
28	104.000	1.500	20.000	15.000	27	106	0.340	0.159	1.548	
29	104.000	1.500	20.000	15.000	27	107	0.056	-0.086	1.649	
30	104.000	1.500	20.000	15.000	27	107	0.156	-0.186	1.631	
31	104.000	1.500	20.000	15.000	27	107	0.256	-0.286	1.610	
32	104.000	1.500	20.000	15.000	27	108	-0.016	-0.516	1.704	
33	104.000	1.750	20.000	5.000	23	93	0.315	0.979	1.478	
34	104.000	1.750	20.000	5.000	23	93	0.415	0.879	1.463	
35	104.000	1.750	20.000	5.000	23	93	0.515	0.779	1.445	
36	104.000	1.750	20.000	5.000	24	95	0.067	-0.360	1.732	
37	104.000	1.750	20.000	5.000	24	95	0.167	-0.460	1.707	
38	104.000	1.750	20.000	5.000	24	95	0.267	-0.560	1.680	
39	104.000	1.750	20.000	10.000	23	92	0.279	0.827	1.489	
40	104.000	1.750	20.000	10.000	23	92	0.379	0.727	1.474	
41	104.000	1.750	20.000	10.000	23	92	0.479	0.627	1.456	
42	104.000	1.750	20.000	10.000	23	93	0.189	0.362	1.578	
43	104.000	1.750	20.000	10.000	23	93	0.289	0.262	1.559	
44	104.000	1.750	20.000	10.000	23	93	0.389	0.162	1.538	
45	104.000	1.750	20.000	15.000	23	91	0.159	0.269	1.556	
46	104.000	1.750	20.000	15.000	23	91	0.259	0.169	1.538	
47	104.000	1.750	20.000	15.000	23	91	0.359	0.069	1.518	
48	104.000	1.750	20.000	15.000	23	92	0.082	-0.181	1.627	

Figura 3.3 Lista de las soluciones encontradas con los parámetros especificados.

Haciendo clic en el botón “Protocolo” se evalúan las propiedades más importantes de las soluciones, y se genera un protocolo con ellas.

Análisis de los resultados		(Valoración de características importantes)					
Comentarios:							
N°.	= Número de la Solución						
diff_i	= Desviación de la relación nominal en %						
kg	= Peso en kg						
Slide	= Deslizamiento específico (valor máximo)						
v.Slide	= Velocidad de deslizamiento (m/s, valor máximo)						
AC/AE	= Inicio de la profundidad operacional AC, profundidad operacional AE (fricción)						
s_Rig	= Desviación estándar de la rigidez durante el laminado (N/mm/mym)						
	(Cálculo SIN considerar el perfil de diente exacto)						
1-eta	= Perdidas en % (1.0 = rendimiento total)						
Seguridad	= Seguridad (pie y flanco de diente, 0 = alta, 1 = media, 2 = baja)						
	(SF-min= 0.60/ 1.20/ 1.40 SH-min= 0.60/ 0.90/ 1.00)						
Resumen	= Valoración total (ponderada)						
	(s_Rig = 50.0%; diff_i = 20.0%; kg = 10.0%; Slide, deslizamiento = 35.0%						
	Velocidad desliz. = 0.0%; AC/AE = 0.0%; 1-eta, perdidas = 10.0%						
	Seguridad = 100.0%)						
(Para esta tabla y en general, puede decirse que: el valor más bajo es el mejor)							
N°.	diff_i	kg	Slide	v.Slide	AC/AE	s_Rig	1-eta
1	0.926	5.111	1.041	0.187	0.517	1.784	1.084
2	1.405	0.677	0.863	0.190	0.470	1.840	1.075
3	0.926	5.086	0.709	0.205	0.421	1.851	1.100
4	1.852	5.124	1.222	0.193	0.507	1.490	1.189

Figura 3.4 Variación de soluciones.

Observación importante: el procedimiento aquí expuesto es algo reducido. En la práctica, es necesario examinar cuidadosamente la lista “Resultados” del dimensionado fino. Es bastante probable que la 2ª o la 3ª solución con respecto al ruido, sea preferible según los criterios del diseñador. La visualización de las soluciones, en el diagrama generado en la pestaña “Gráfico” puede ser de gran utilidad:

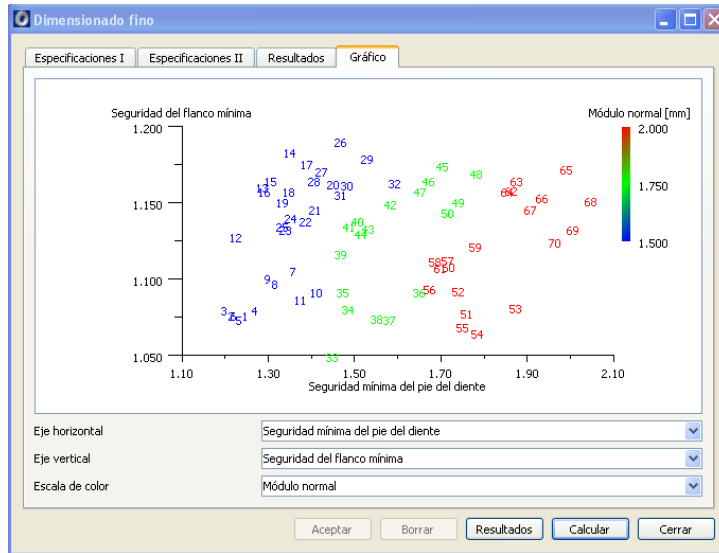
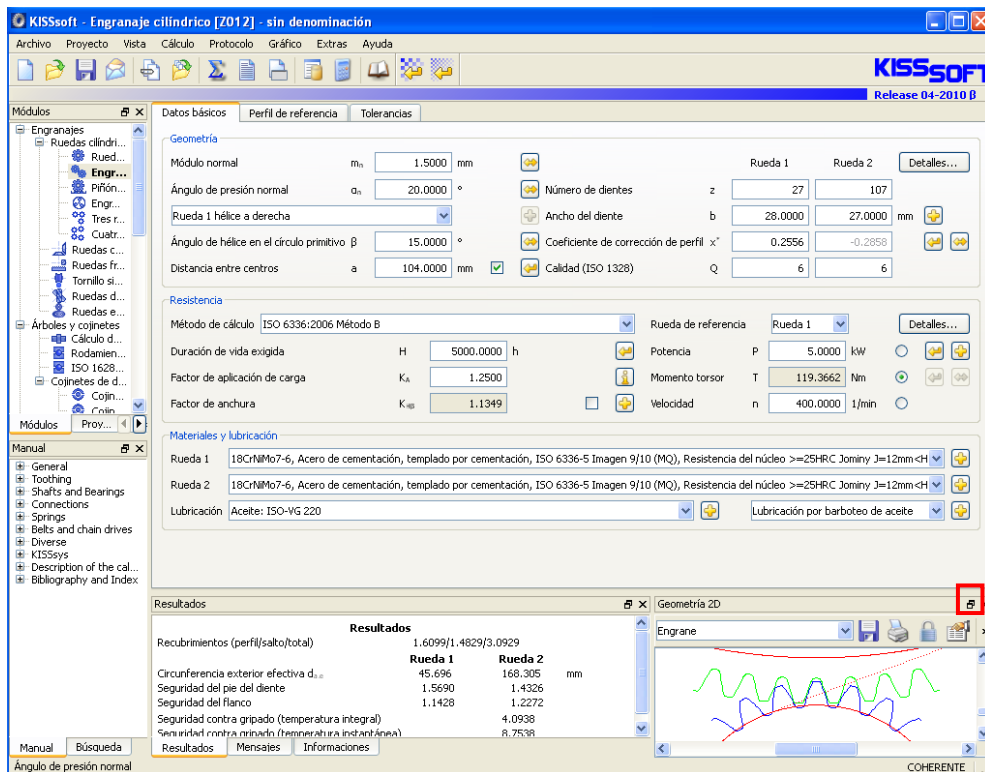


Figura 3.5 Visualización gráfica de todas las soluciones.

Este gráfico permitirá determinar la mejor solución; regresar a la pestaña “Resultados” y aceptarla.


3.2 Resultados del dimensionado fino

El valor del recubrimiento total está muy cerca de 3.1 (ver Figura 3.6), es decir, los cambios de rigidez en el engrane son pequeños y la rueda dentada provocará pocas vibraciones.



Para acceder directamente a esta fase del cálculo, abrir el archivo “Tutorial-009-Step-4.Z12”

Figura 3.6 Resultados del dimensionado fino - Desplazamiento de perfil, ángulo de presión, N° de dientes.

El perfil de diente resultante puede visualizarse en la ventana de gráficos. Haciendo clic en el botón derecho del ratón, se puede aumentar el gráfico. Con el botón izquierdo o con el botón  se puede extraer la ventana para aumentarla.

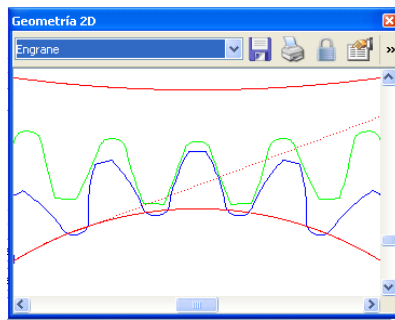


Figura 3.7 Perfil de diente resultante (círculos de base y líneas de engrane en rojo).

La variación de la rigidez del engrane puede visualizarse seleccionando en el menú “Gráfico” ⇒ “Análisis” ⇒ “Rigidez teórica del engrane”:

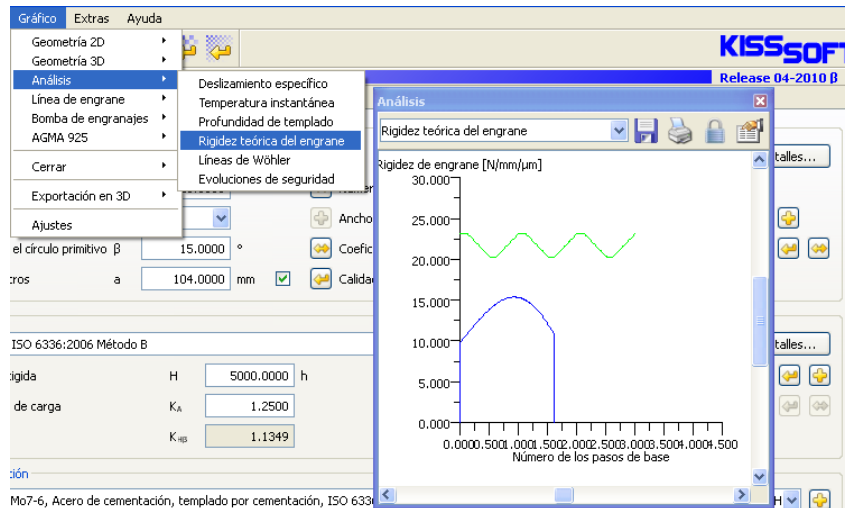


Figura 3.8 Variación de la rigidez teórica del engrane.

3.3 Dimensionado de un dentado alto

Sin embargo, la solución determinada hasta ahora todavía puede mejorarse. Para esto, debe aumentarse a 2 la relación de contacto aparente ϵ_a (en el caso de que más tarde se proceda a una despulla de cabeza, será necesaria una relación de contacto aparente un poco más elevada, pues ésta será reducida por la despulla).

En caso de un dimensionado de dentado alto, la relación de contacto aparente debe aumentarse aún más (la relación de contacto aparente deseada puede ajustarse en el módulo específico “Ajustes específicos del módulo” ⇒ “Dimensionados”).

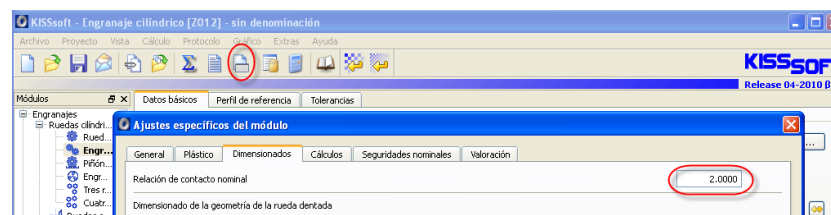


Figura 3.9 Ajustes específicos del módulo.

Para hacer un dimensionado alto, llamar de nuevo al “Dimensionado fino” y en “Especificaciones II” marcar la casilla “Dimensionar dentado alto” ⇒ “Calcular” para obtener las nuevas soluciones (ver Figura 3.10).

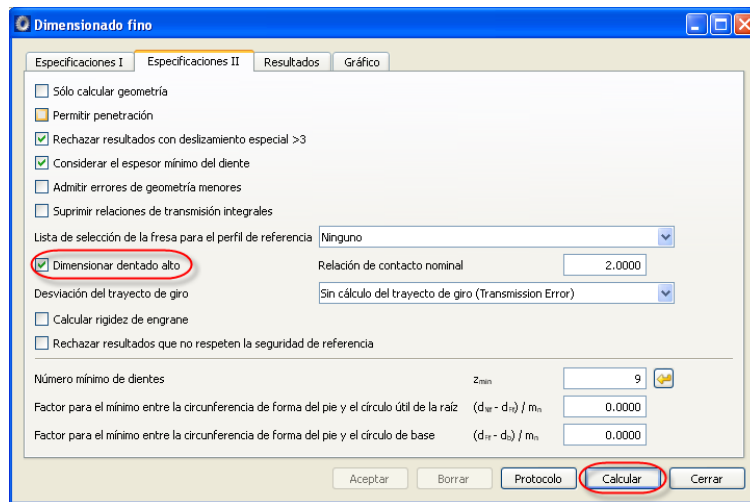
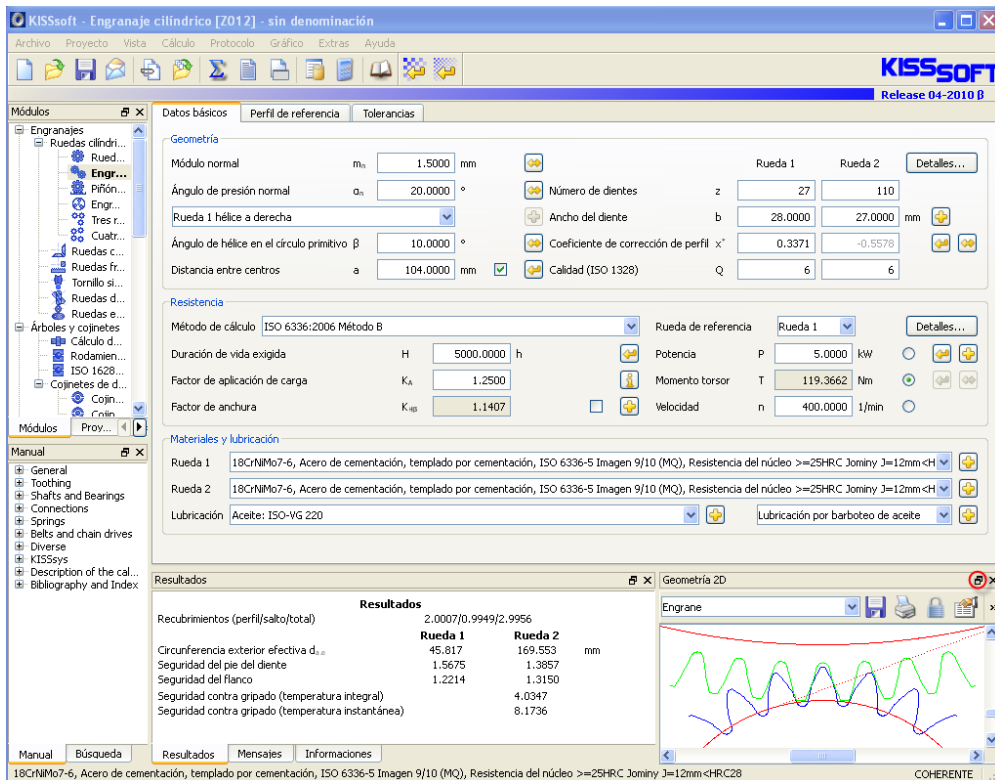


Figura 3.10 Ajuste en el dimensionado fino: marcar “Dimensionar dentado alto”

La solución favorable para el criterio ruido es ahora la número 23. Haciendo clic en “Aceptar” se aceptan los datos del dentado de esta solución. Con el dimensionado de un dentado alto se modificará el perfil de referencia.

Haciendo clic en “Calcular” se envían de nuevo a la máscara principal los datos calculados de las ruedas dentadas (modificación del número de dientes, ángulo de hélice, corrección de perfil):



Para acceder directamente a esta fase del cálculo, abrir el archivo “Tutorial-009-Step-5.Z12”

Figura 3.11 Nuevos datos de dentado y resultados enfocados en el recubrimiento.

El perfil de diente resultante puede visualizarse en la ventana de gráficos.

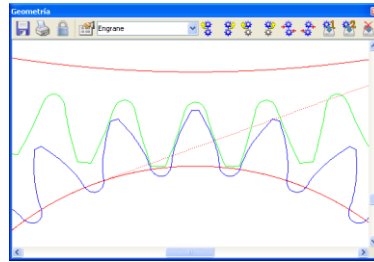


Figura 3.12 Dentado alto resultante.

Rueda 1		Rueda 2	
Configuración	Perfil de referencia, rueda dentada	Configuración	Perfil de referencia, rueda dentada
Operación	Acabado	Operación	Acabado
Perfil de referencia	Definición por usuario	Perfil de referencia	Definición por usuario
Denominación		Denominación	
Coefficiente de altura del pie $h_{1,1}^{*}$	1.4770	Coefficiente de altura del pie $h_{1,1}^{*}$	1.4770
Factor de radio del pie $\rho_{1,1}^{*}$	0.3539	Factor de radio del pie $\rho_{1,1}^{*}$	0.3539
Coefficiente de altura de cabeza $h_{1,2}^{*}$	1.2270	Coefficiente de altura de cabeza $h_{1,2}^{*}$	1.2270
Coefficiente de al... de protuberancia $h_{1,3}^{*}$	0.0000	Coefficiente de al... de protuberancia $h_{1,3}^{*}$	0.0000
Ángulo de la protuberancia $\alpha_{1,3}^{*}$	0.0000 °	Ángulo de la protuberancia $\alpha_{1,3}^{*}$	0.0000 °
Factor de altura ...orma de la cabeza $h_{1,4}^{*}$	0.0000	Factor de altura ...orma de la cabeza $h_{1,4}^{*}$	0.0000
Ángulo de flanco de chafán $\alpha_{1,4}^{*}$	0.0000 °	Ángulo de flanco de chafán $\alpha_{1,4}^{*}$	0.0000 °
<input type="checkbox"/> Herramienta topping		<input type="checkbox"/> Herramienta topping	

Figura 3.13 Detalles del perfil de referencia para el dentado alto – Pestaña “Perfil de referencia”

La relación de contacto resultante está ahora muy cerca de 3, es decir, muy próxima a una rigidez de engrane muy equilibrada:

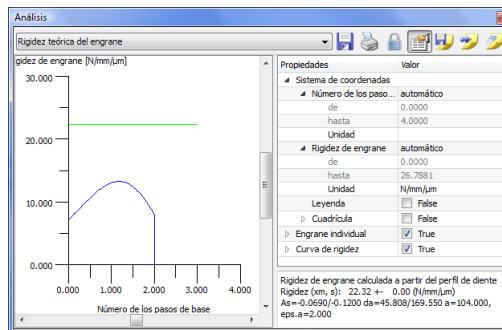


Figura 3.14 Rigidez teórica del engrane.


3.4 Instrucciones adicionales para el cálculo de la resistencia

Para la verificación final de la resistencia del dentado, aún es necesario introducir datos para los tipos de lubricación y para el factor de carga repartida (factor de anchura):

Resistencia	
Método de cálculo	ISO 6336:2006 Method B
Geforderte Lebensdauer	H 5000.0000 h
Factor de aplicación de cc	K_A 1.2500
Factor de anchura	$K_{H\beta}$ 1.2210
Materiales y lubricación	
Rueda 1	18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened, ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), core strength \geq 25HRC Jominy J=12mm <HRC28
Rueda 2	18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened, ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), core strength \geq 25HRC Jominy J=12mm <HRC28
Lubricación	Oil: ESSO Spartan EP-220

Figura 3.15 Datos para lubricación y factor de anchura.

El tipo de lubricación así como el mismo agente lubricante, pueden seleccionarse directamente de las listas desplegables (ver Figura 3.15). Es posible introducir nuevos lubricantes mediante la herramienta “Base de datos”.

La temperatura del material lubricante se determina con el botón  .

Las temperaturas operacionales, del entorno o de la carcasa, pueden introducirse en los campos de “Influencias durante el servicio” (ver Figura 3.16).

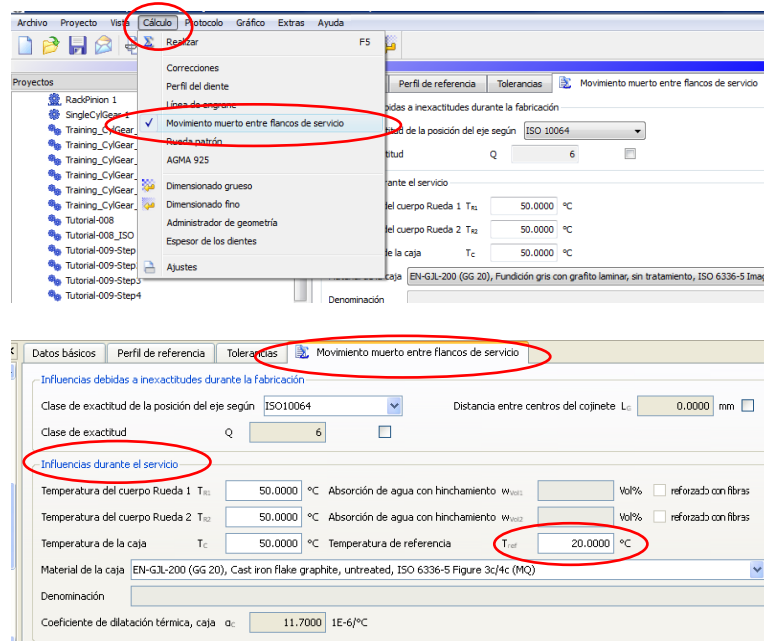
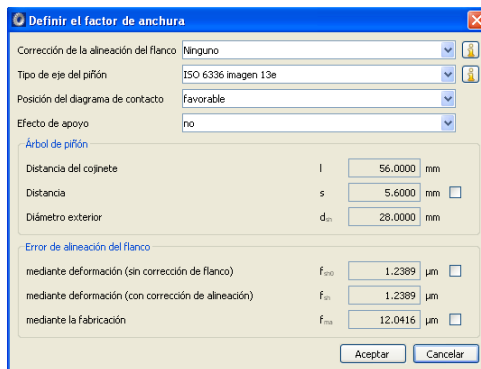


Figura 3.16 Movimiento muerto entre flancos de servicio.



El factor de carga repartida (factor de anchura) puede definirse según los métodos A, B o C.

(Si requiere más información en inglés sobre el factor de carga repartida, puede obtenerla, en inglés, a través del soporte de KISSsoft AG: support@kisssoft.ch “kisssoft-anl-072-E-contact-analysis-cylindrical-gear.doc”).

Normalmente no hace falta hacer modificaciones aquí.

Figura 3.17 Introducción de datos para otros parámetros, principalmente para la determinación del factor de carga repartida (factor de anchura).

Observación importante:

En caso de que la resistencia o la duración de vida sean relevantes para la valoración de las soluciones calculadas en el dimensionado fino, deben introducirse estos datos antes de esta última ejecución.