KISSsoft
Berechnungsprogramme für den Maschinenbau

KISSsoft 03/2016 – Tutorial 9

Dimensionado fino de ruedas cilíndricas

KISSsoft AG
Rosengartenstrasse 4
8608 Bubikon
Schweiz

Tel: +41 55 254 20 50
Fax: +41 55 254 20 51
info@KISSsoft.AG
www.KISSsoft.AG

WISSEN TEILEN

Contenido

1 Datos del ejercicio ... 3
1.1 Datos del ejercicio ... 3
1.2 Inicio del cálculo de un par de engranajes (engranaje cilíndrico) ... 3
2 Dimensionado grueso de un engranaje cilíndrico ... 5
2.1 Preparación del cálculo ... 5
2.2 Selección del dimensionado grueso ... 6
2.3 Ajustes ... 8
3 Dimensionado fino ... 11
3.1 Selección del dimensionado fino ... 11
3.2 Resultado del dimensionado fino ... 14
3.3 Dimensionado de un dentado alto ... 16
3.4 Detalles adicionales acerca del cálculo de la resistencia ... 19

1 Datos del ejercicio

1.1 Datos del ejercicio

Se pretende dimensionar un engranaje cilíndrico que, para una vida de 5000 horas, pueda transmitir una potencia de 5 kW con una velocidad de entrada de 400 rpm (factor de aplicación de carga = 1,25). La relación de transmisión debe ser de 1:4 (en reducción); las ruedas dentadas en material 18CrNiMo7-6. El engranaje cilíndrico debe optimizarse con respecto a emisión de ruido/relación de contacto. La verificación de la resistencia se ejecuta según ISO 6336, Método B.

1.2 Inicio del cálculo de un par de engranajes (engranaje cilíndrico)

Una vez realizada la instalación y la activación de KISSsoft, el programa ya puede ser utilizado. El arranque del programa se realiza desde "Inicio→Archivos de programa→KISSsoft 03-2017→KISSsoft 03-2017". Aparece la siguiente interfaz del usuario:

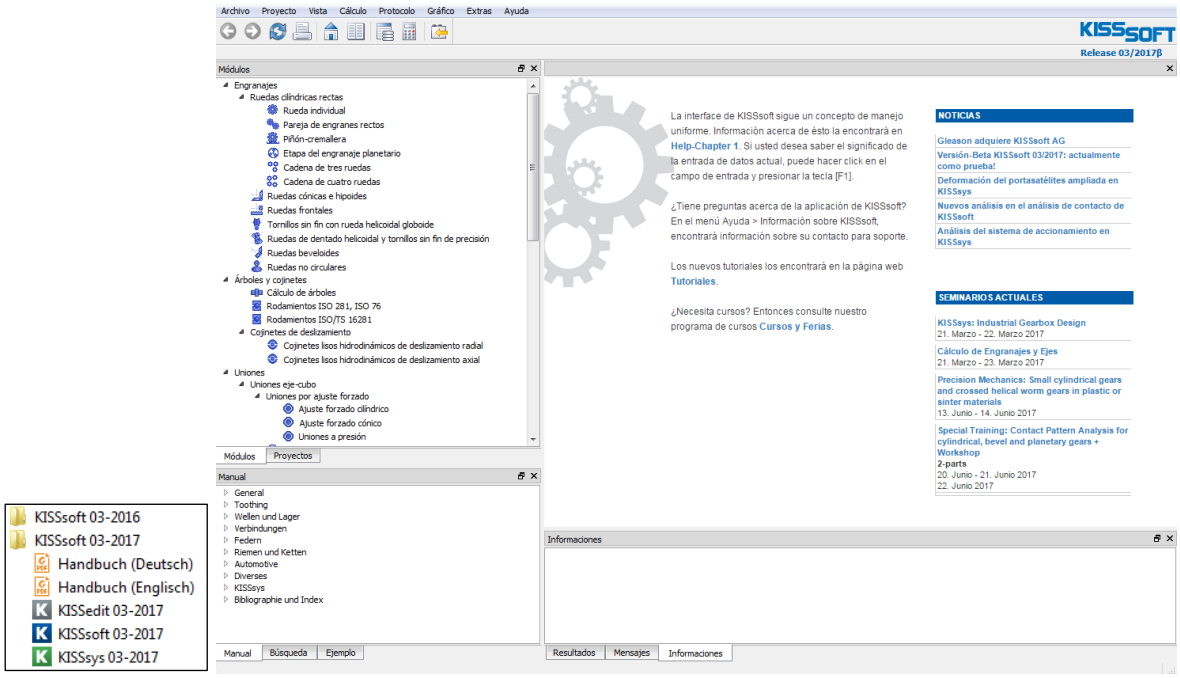


Figura 1. Inicio de KISSsoft, ventana inicial

Haciendo clic en la pestaña "**Módulos**" seleccione el módulo “Pareja de engranes rectos” en la ventana del árbol de módulos:

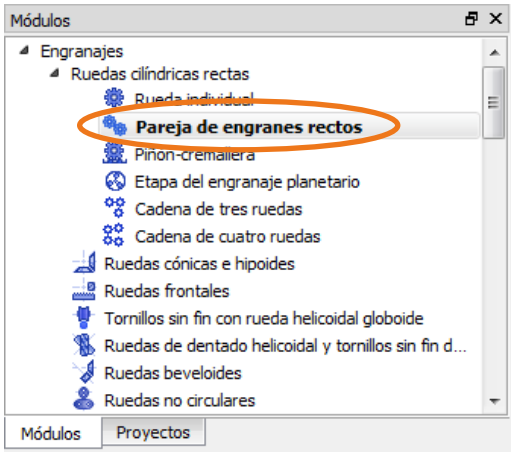


Figura 2. Llamada del cálculo de un engranaje cilíndrico

Para abrir el ejemplo utilizado en este tutorial, haga clic en "Archivo/Abrir" y seleccione "Tutorial-009-Step1" (hasta "Tutorial-009-Step5") o selecciónelo en la pestaña "**Ejemplos**". En cada capítulo de este tutorial se indica qué archivo es necesario abrir (como se muestra a continuación).

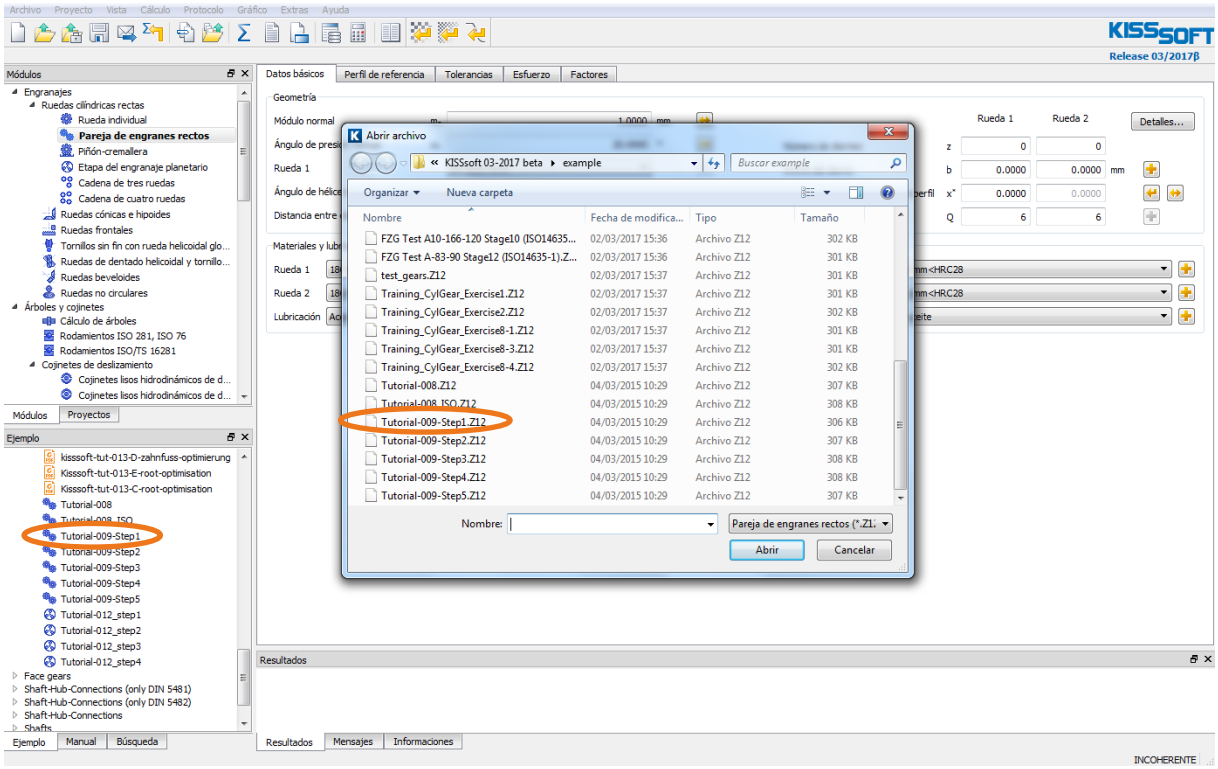


Figura 3. Opciones para abrir un paso intermedio del ejemplo desarrollado en el tutorial

2 Dimensionado grueso de un engranaje cilíndrico

2.1 Preparación del cálculo

Antes de comenzar el dimensionado grueso, deben definirse los parámetros esenciales del dentado en la pestaña **Datos básicos** y **Esfuerzo**. En la pestaña "**Datos básicos**", en "Materiales y lubricación", seleccione el material 18CrNiMo7-6.

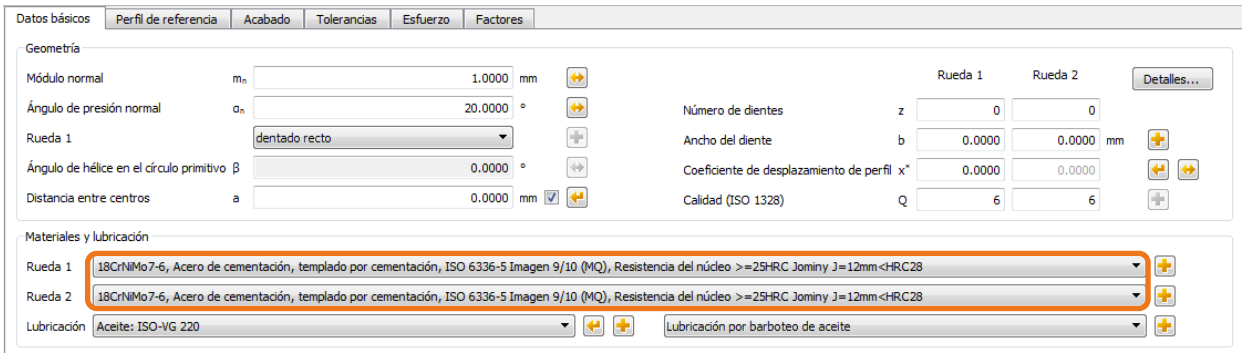


Figura 4. Material en la pestaña Datos básicos

Los factores de seguridad a alcanzar, se pueden especificar en los ajustes específicos del módulo en la pestaña "Seguridades nominales".

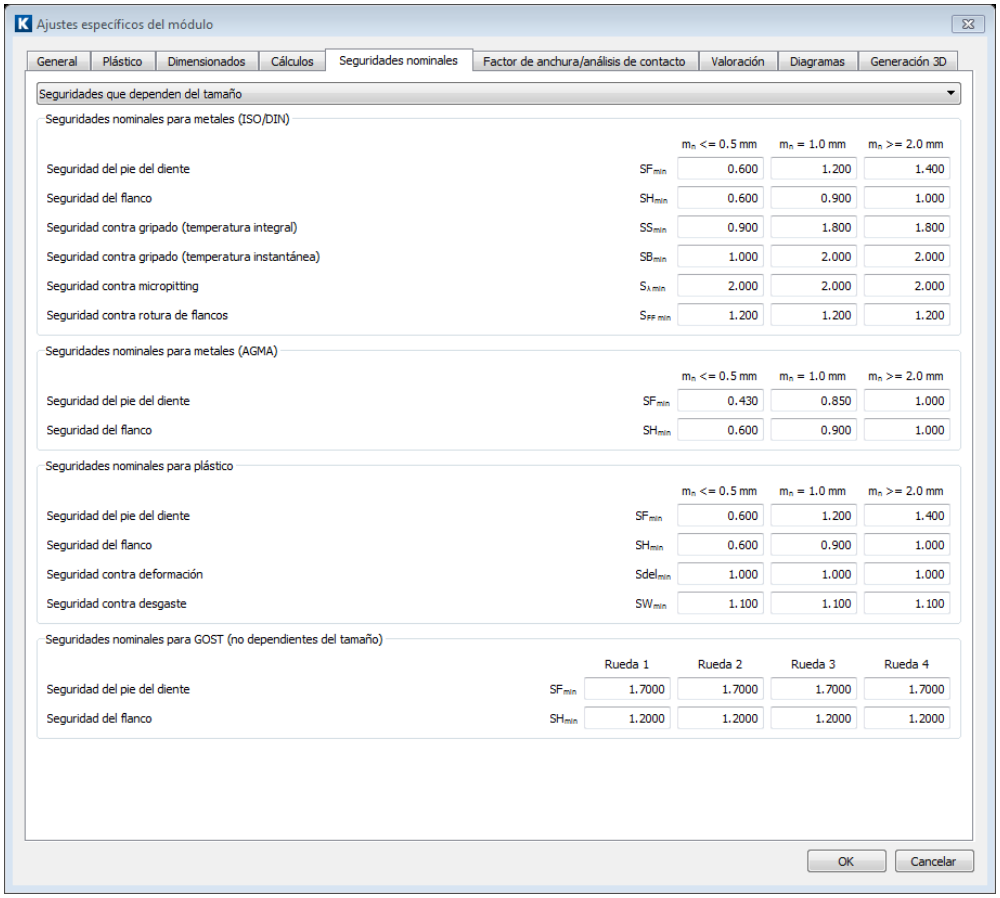
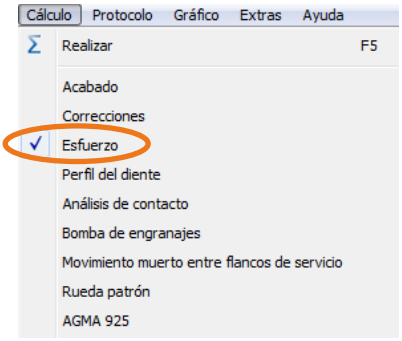
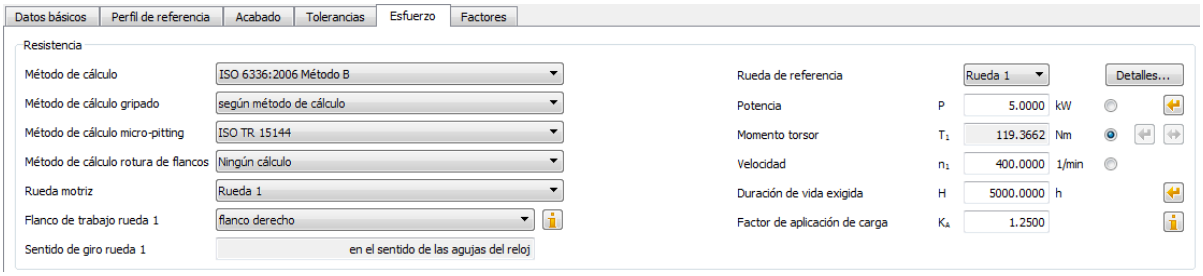


Figura 5. Ajustes específicos del módulo – Especificaciones de las seguridades

A continuación, en la pestaña “**Cálculo**” → "**Esfuerzo**" se pueden introducir los datos para la expectativa de vida, la potencia, la velocidad de entrada, el factor de aplicación de carga así como el método de cálculo para la verificación de la resistencia.





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

Figura 6. Datos de dentado en la pestaña Esfuerzo

2.2 Selección del dimensionado grueso

El dimensionado grueso sugiere una primera propuesta para un dimensionado razonable del engranaje cilíndrico. Para ello, seleccione **"Cálculo"→"Dimensionado grueso"** e introduzca los datos principales solicitados en la ventana de dimensionado grueso.

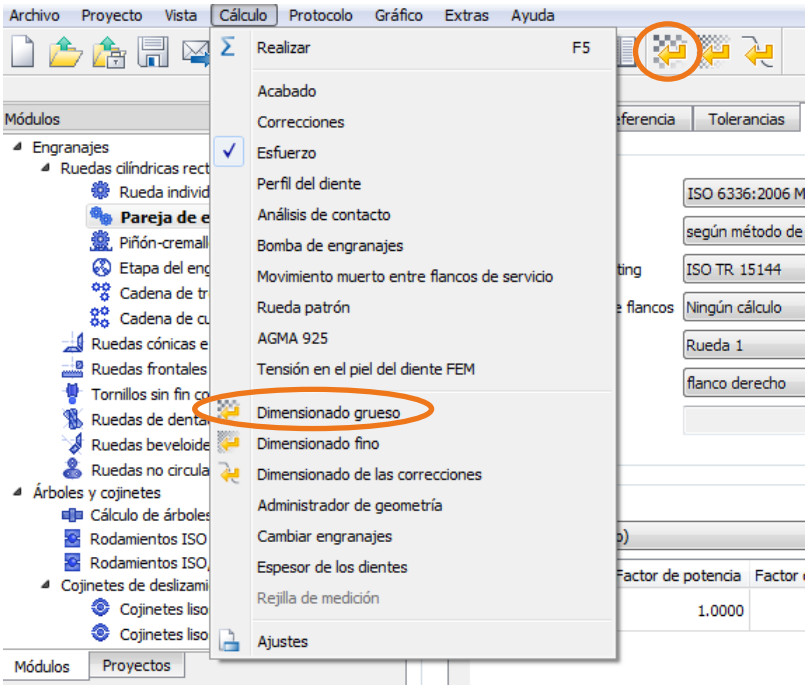


Figura 7. Selección del Dimensionado grueso

En este caso, es esencial la especificación de la relación de transmisión deseada (incluida la desviación admisible en porcentaje - **aquí 5 %**). Además, también es posible predefinir el ángulo de hélice o la distancia entre centros. El ángulo de hélice depende del tipo de cojinetes en los árboles. Según la fuerza axial que puedan soportar los cojinetes, el ángulo de hélice podrá ser mayor o menor. El dimensionado fino llevado a cabo posteriormente permite 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 parte inferior de la ventana de entrada **"Dimensionado grueso"** también puede definir otras especificaciones, por ejemplo, el número de dientes del piñón, las proporciones geométricas diversas o la distancia entre centros.

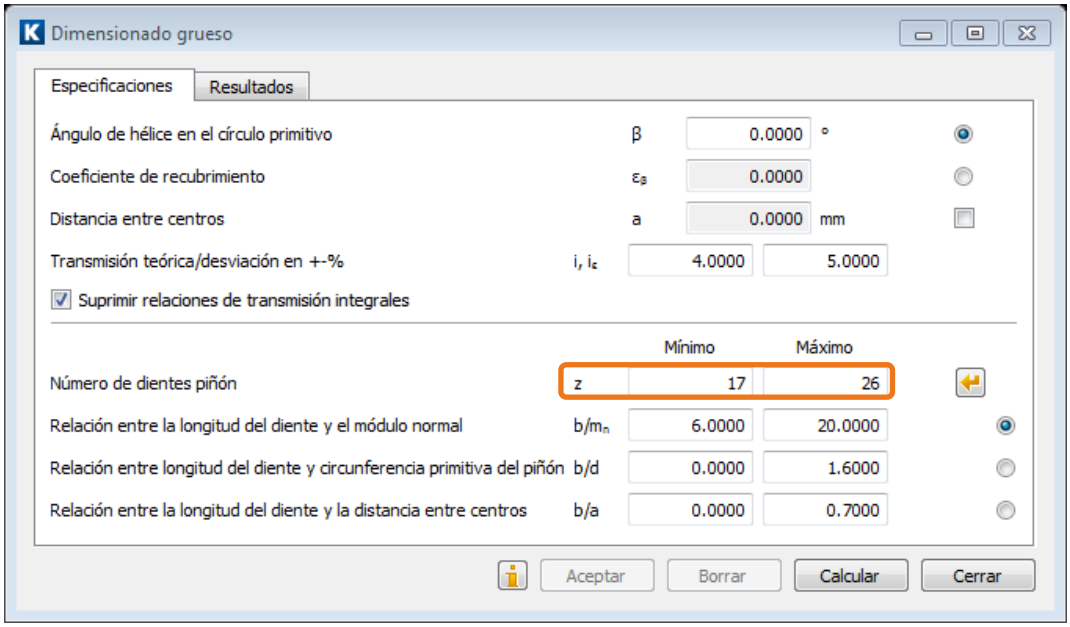
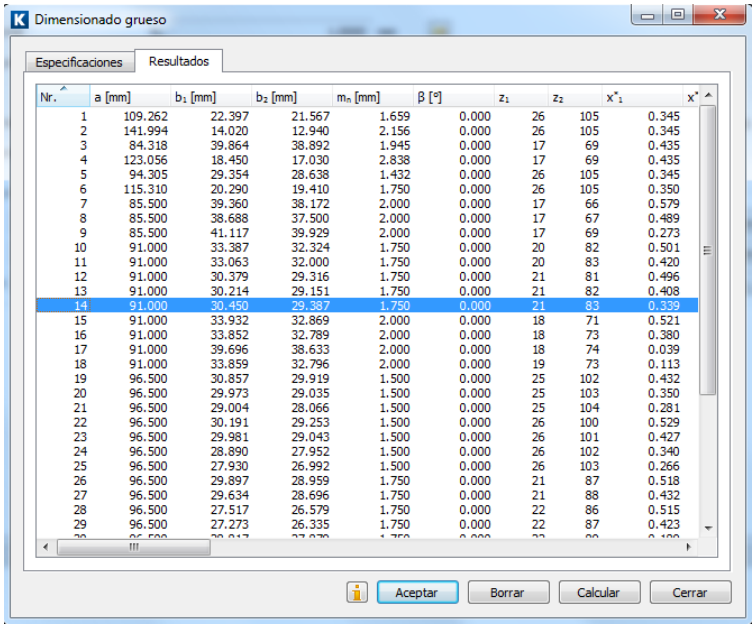
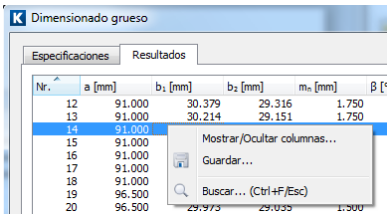


Figura 8. Ventana de entrada Dimensionado grueso - Especificaciones del número de dientes de la rueda 1

Presionando el botón **“Calcular“** KISSsoft calcula varias soluciones para un engranaje que cumpla las condiciones introducidas. Estas soluciones se muestran en la lista de la figura abajo.



Los criterios utilizados en la lista de resultados, como la distancia entre centros a, el ancho b, etc., pueden seleccionarse con un clic en el botón derecho del ratón “Mostrar/Ocultar columnas…”.



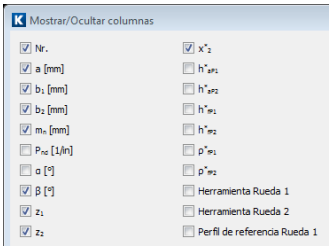
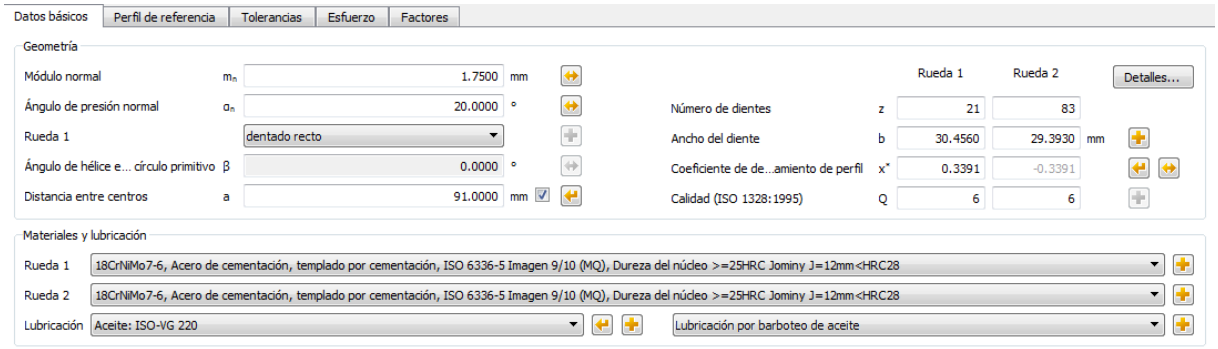


Figura 9. Dimensionado grueso de ruedas cilíndricas, resultados

Para seleccionar una solución (en este caso, la de distancia entre centros de 91 mm), elíjala en la lista y presione el botón **"Aceptar"** y, a continuación, **"Cerrar".**



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

Figura 10. Módulo normal, número de dientes, ancho, desplazamiento de perfil y distancia entre centros propuestos por KISSsoft

2.3 Ajustes

Los valores propuestos, p. ej., para el ancho de rueda, pueden ajustarse manualmente: ancho del piñón a 30mm y ancho de la rueda a 29mm (introducir directamente en sus respectivos campos).
El perfil de referencia puede modificarse en la pestaña **"Perfil de referencia"**, a través de las opciones de la lista desplegable.

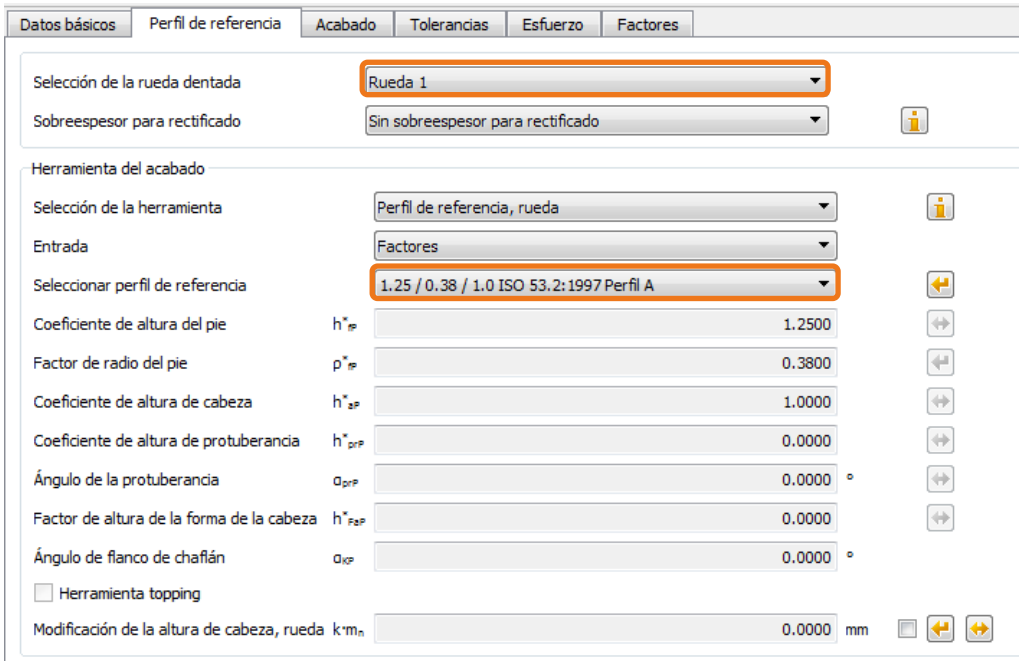


Figura 11. Pestaña "Perfil de referencia", información sobre el perfil de referencia

Puede ajustar el desplazamiento de perfil de la rueda 1 (el cálculo de la rueda 2 depende del cálculo de la rueda 1) como sigue: presione el botón  para visualizar la ventana de diálogo "**Dimensionar los coeficientes de desplazamiento de perfil**" que contiene sugerencias para los diferentes coeficientes de desplazamiento de perfil (ver **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

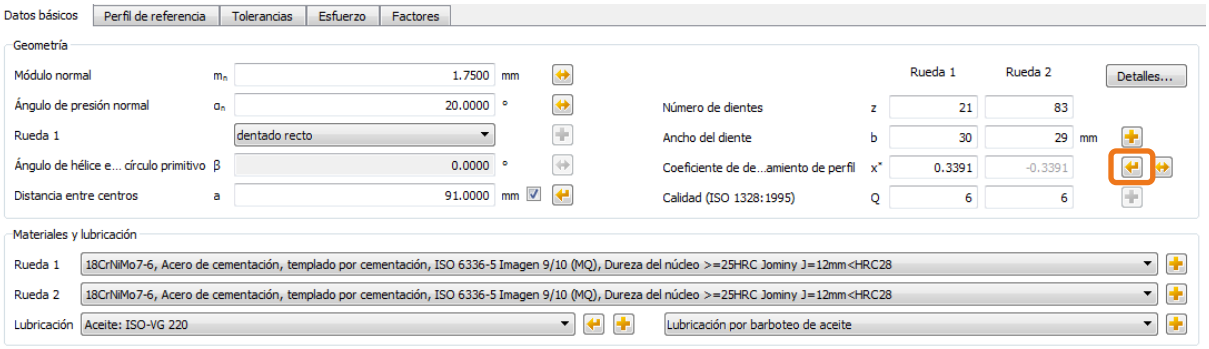
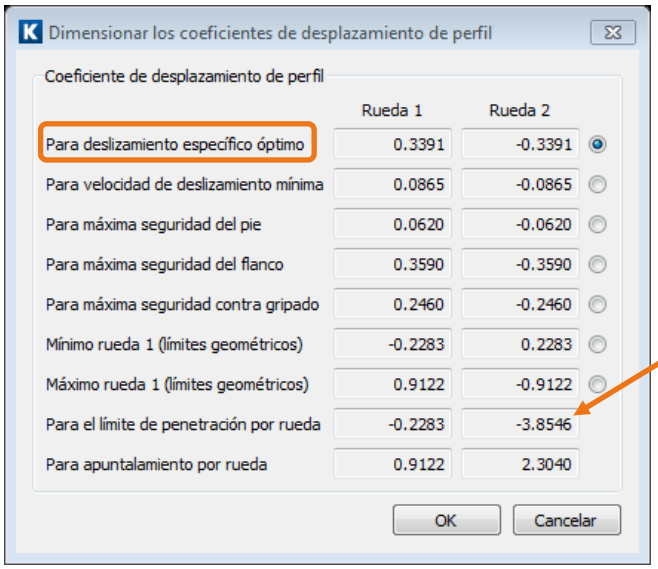


Figura 12. Abra la ventana de diálogo; Dimensionar los coeficientes de desplazamiento de perfil

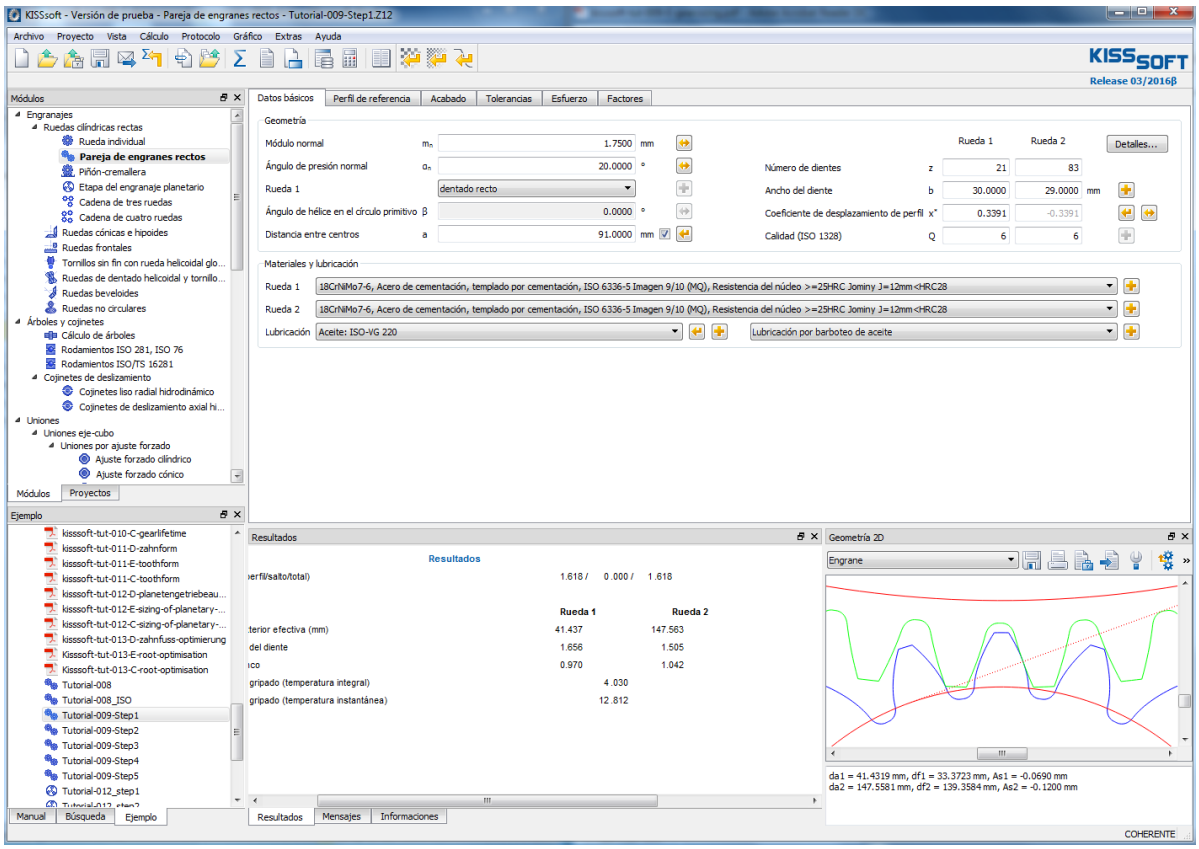


- Diferentes métodos para dimensionar los coeficientes de desplazamiento de perfil
- Sugerencias razonables para los coeficientes de desplazamiento de perfil
- Valores máximos y mínimos (círculo de punta sin interferencia de tallado)

Figura 13. Ventana de diálogo; Dimensionar los coeficientes de desplazamiento de perfil

Utilizando diferentes criterios, KISSsoft sugiere aquí coeficientes de desplazamiento de perfil adecuados. En este ejemplo se trata de compensar el deslizamiento específico. Seleccione la propuesta deseada y presione "**OK**".

El coeficiente de desplazamiento de perfil x se transfiere a la ventana de entrada "**Datos básicos**"/"Geometría". Haciendo clic en el símbolo  de la barra de símbolos o pulsando "F5", se ejecuta el cálculo de la geometría completa, las seguridades de pie y de flanco, la seguridad contra gripado y la relación de contacto resultante (ver Figura 13 abajo). Los resultados deben ser como se citan a continuación (es posible que haya pequeñas desviaciones, p.ej., en los coeficientes de desplazamiento de perfil):



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

Figura 14. Coeficiente de desplazamiento de perfil ajustado, ejecución del cálculo, visualización de los resultados

3 Dimensionado fino

3.1 Selección del dimensionado fino

Una vez realizado el dimensionado grueso que permita transmitir la potencia deseada, debemos optimizarlo en cuanto a la emisión de ruido y a la resistencia. De la misma manera que se ha hecho para el dimensionado grueso, seleccionar ahora "**Cálculo**", "**Dimensionado fino**" y aparecerá la respectiva ventana de diálogo.

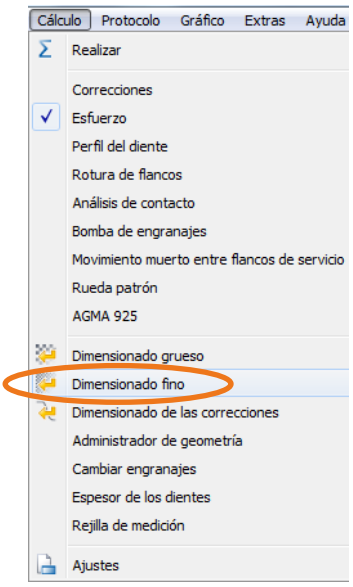


Figura 15. Comienzo de "Dimensionado Fino"

Aquí se puede definir los rangos (e intervalos) para los parámetros siguientes. KISSsoft buscará soluciones adecuadas a estas definiciones.

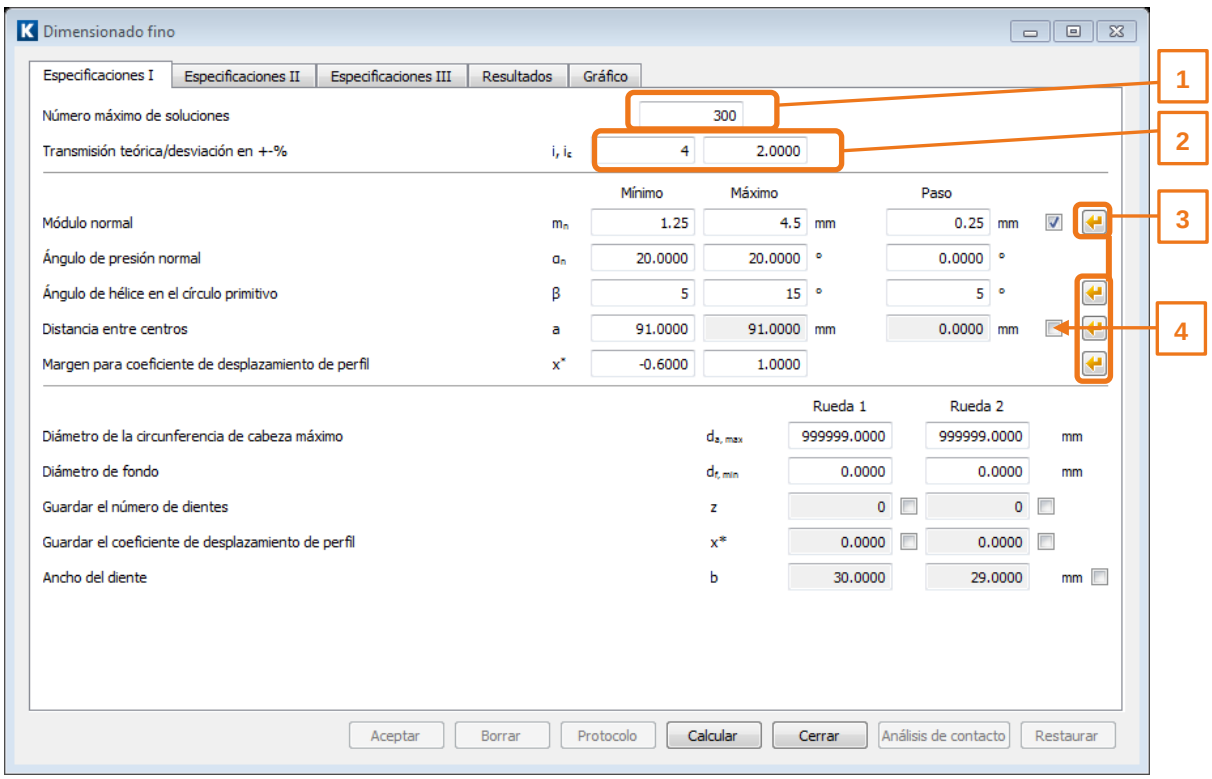


Figura 16. Ventana de entrada – Dimensionado fino, indicación de los márgenes de los parámetros

(1) Introduzca el valor 300

(2) Defina la relación de transmisión teórica (4) y la desviación admisible (2%)

(3) Presione los botones de Dimensionado  a través del cual KISSsoft propondrá valores/rangos razonables para los parámetros **"Módulo normal"**, **"Ángulo de hélice"**, **"Distancia entre centros"** y **"Rango para los coeficiente de desplazamiento de perfil".**

(4) Seleccione si la distancia entre centros es fija o variable

- Rango para el módulo normal (1.25 ... 4.5)
- Rango para el ángulo de hélice (5º ... 15º)
- Rango para la distancia entre centros (para ello seleccione aquí "Distancia entre centros variable")
  (Respecto a las dimensiones de estos valores, los resultados del dimensionado grueso ya están puestos aquí.)

Además, podrá predeterminar los siguientes parámetros:

- Límite superior para el diámetro de cabeza
- Límite inferior para el diámetro de pie
- Fijar el número de dientes para una o ambas ruedas (activar la casilla de verificación para la rueda dentada relevante; si 0: el número de dientes es variable)
- Especificar el desplazamiento de perfil para una o ambas ruedas (activar la casilla de verificación para la rueda dentada relevante)

Para este ejemplo, realice los ajustes mostrados en Figura 16. Presione "**Calcular**" (botón abajo) para llamar la función del dimensionado. El algoritmo hallará todas las combinaciones de ruedas dentadas posibles que coinciden con los valores de entrada introducidos.
Cuando se ha finalizado el proceso de cálculo, se verá una lista con todas las soluciones que el sistema encontró (ver Figura 17). El objetivo de este ejemplo es obtener un par de engranajes con emisiones de ruido optimizadas. Ahora, los resultados pueden clasificarse según el criterio que se desee (p. ej. ε_α, ε_β o ε_γ) para encontrar la mejor solución (dependiendo de la estrategia seleccionada ε_α y ε_β como números enteros o ε_γ de ser posible como número entero). Con un doble clic en la variante seleccionada o un clic en el botón **"Aceptar"** se calcula el resultado. En caso de que el resultado obtenido no sea el mejor, puede elegirse otra variante hasta que se encuentre la solución óptima y se pueda cerrar la ventana.
La solución elegida para este ejemplo es la 52.

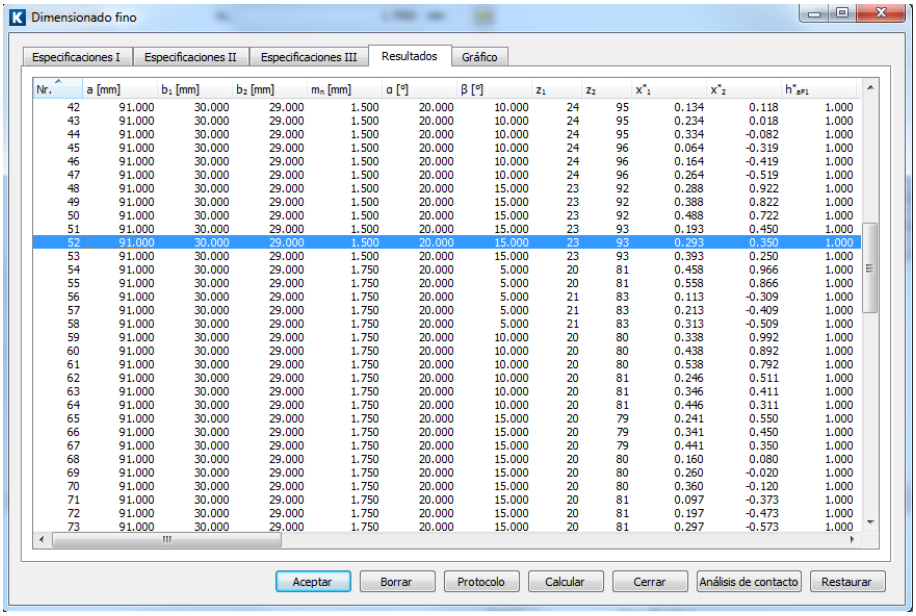


Figura 17. Lista de todas las soluciones encontradas en el rango de los parámetros específicos

Haciendo clic en el botón **"Protocolo"** se evalúan las propiedades más importantes de la solución encontrada y se genera un protocolo con ellas.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS (Valoración de características importantes)

Comentario:
Núm. = número de la variante
diff_i = derivación de la transmisión teórica %
kg = peso en kg
Slide = deslizamiento específico (valor máximo)
v.Slide = Velocidad de deslizamiento (m/s, valor máximo)
AC/AE = Línea de contacto de entrada AC / línea de contacto AE
(Comportamiento de fricción)
del_cg = Variación estándar de la rigidez en la rodadura (N/mm/mym)
1-eta = Pérdida en % (1,0-grado de eficiencia total)
Safety = seguridad (raíz de diente y flanco, 0 = alto, 1 = suficiente, 2 = bajo)
(SF-min: 0.60/ 1.20/ 1.40 SH-min: 0.60/ 0.90/ 1.00)
Summary = Valoración total (ponderada)
(50.0%:del_cg 20.0%:diff_i 100.0%:kg 35.0%:Slide 0.0%:v.Slide
0.0%:AC/AE 10.0%:1-eta 100.0%:Safety)

(Generalmente en esta tabla: ¡cuanto más pequeño sea el número, mejor!)

No.	diff_i	kg	Slide	v.Slide	AC/AE	del_cg	1-eta	Safety	Summary
1	-1.724	4.166	0.975	0.160	0.521	0.975	1.091	1.468	0.685
2	-1.724	4.156	0.815	0.160	0.473	1.021	1.080	1.479	0.689
3	-1.724	4.147	0.675	0.173	0.425	1.026	1.103	1.488	0.692
...									
50	0.000	4.192	0.747	0.196	0.418	0.265	1.268	1.183	0.550
51	1.087	4.228	1.331	0.184	0.503	0.256	1.352	0.963	0.472
52	1.087	4.216	1.076	0.196	0.457	0.256	1.352	1.096	0.525

...
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS
(con indicación del número de variante en orden descendente)

Variantes mejores respecto la transmisión: 7 8 9 27 28 29 36 37 38 45 ...
Variantes mejores respecto al peso inferior: 23 3 19 22 2 18 6 26 21 9 ...
Mejor variante respecto al comportamiento de fricción (AC/AE): 136 131 133 125 130 132 128 129 135 95 ...
Variantes mejores respecto a la variación de la rigidez: 32 29 31 30 28 27 26 24 25 119 ...
Variantes mejores respecto a la resistencia: 68 65 71 69 66 72 70 67 73 87 ...
Total de variantes óptimas (Summary) : 68 69 70 65 66 67 71 72 73 59 ...

Figura 18. Valoración de las soluciones

Observación importante: La descripción del procedimiento aquí realizado se ha hecho, deliberadamente, lo más reducida posible. En la práctica, es muy importante examinar cuidadosamente la lista **"Análisis de los resultados"** del dimensionado fino. Es bastante probable que la 2ª o la 3ª solución (en términos de ruido) sean preferibles por otros criterios del diseñador. La visualización de las soluciones, en el diagrama generado en la pestaña **"Gráfico"**, también puede ser de utilidad para tomar la decisión correcta:

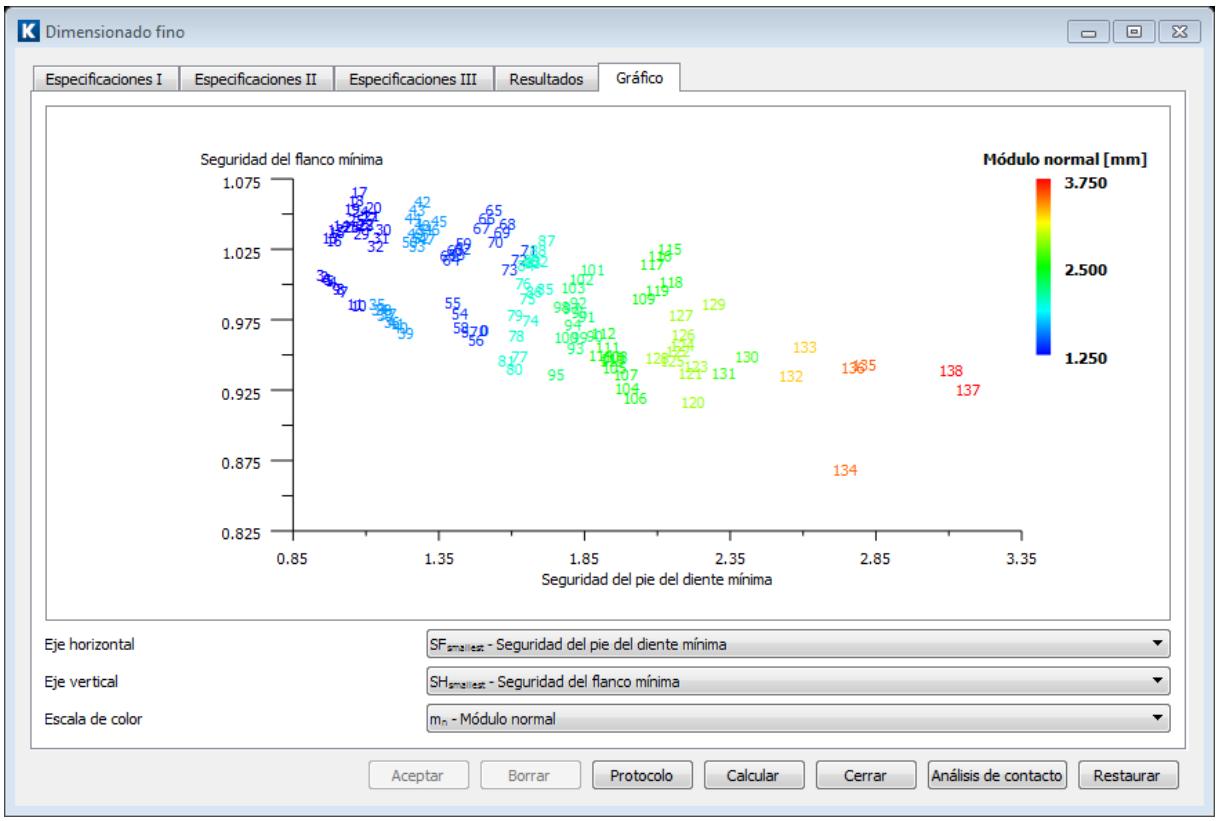
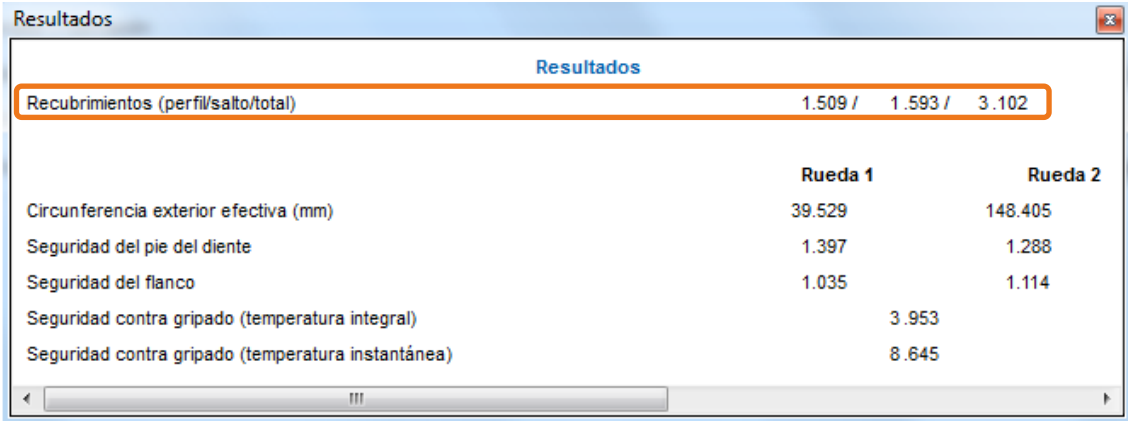


Figura 19. Visualización gráfica de todas las soluciones

Este gráfico puede ayudarle a encontrar la solución óptima (aquí en términos de seguridad de pie del diente y la seguridad de flanco). Se puede, entonces, seleccionar y aceptar ésta a través de **"Resultados"** y transferirla al cálculo.

3.2 Resultado del dimensionado fino

La relación de contacto total es ahora cercana a 3, es decir que la variación de rigidez a lo largo del contacto en el engrane es muy pequeña (ver Figura 20). La rueda dentada, entonces, generará menores vibraciones.



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

Figura 20. Resultados del dimensionado fino (desplazamiento de perfil, ángulo de hélice, número de dientes

El perfil del diente resultante se muestra en una ventana de gráfico como “Geometría 2D“ y puede reducirse o ampliarse mediante el botón o con un doble clic en el botón izquierdo del ratón en el área gris para convertirlo en una ventana flotante y ampliarla:

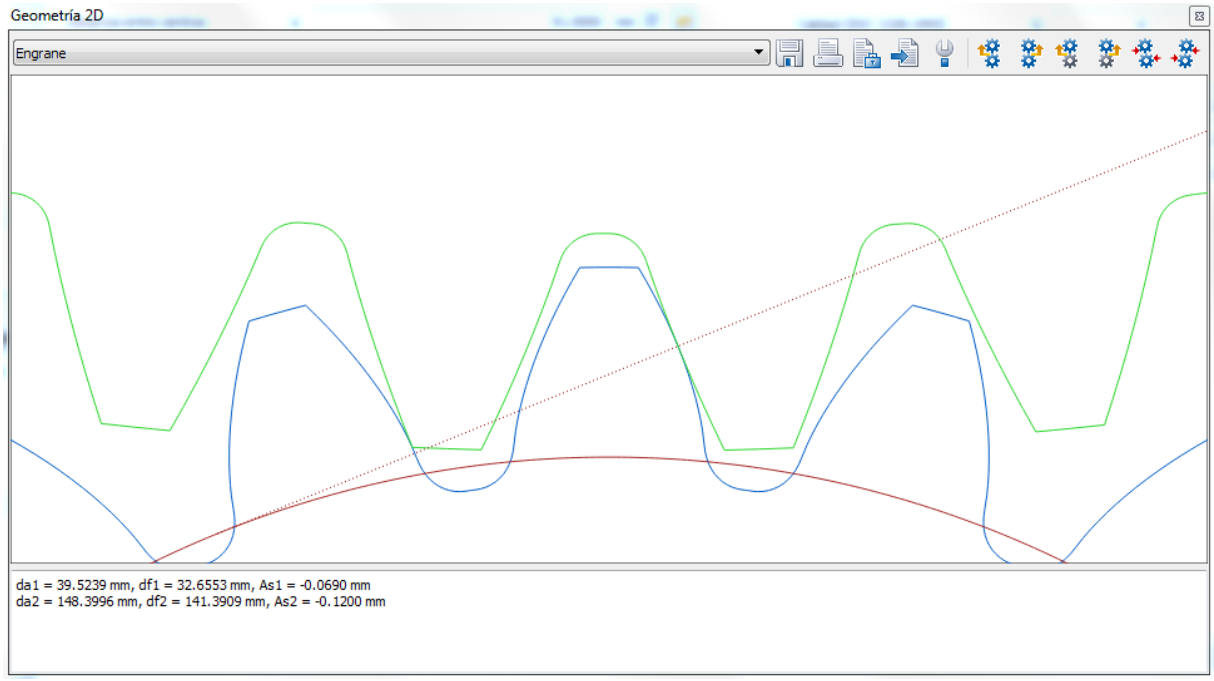


Figura 21. Perfil del diente resultante (circunferencias base y línea de engrane en rojo)

Para visualizar la curva de rigidez del engrane seleccione **"Gráfico"→"Análisis"→"Rigidez teórica del engrane":**

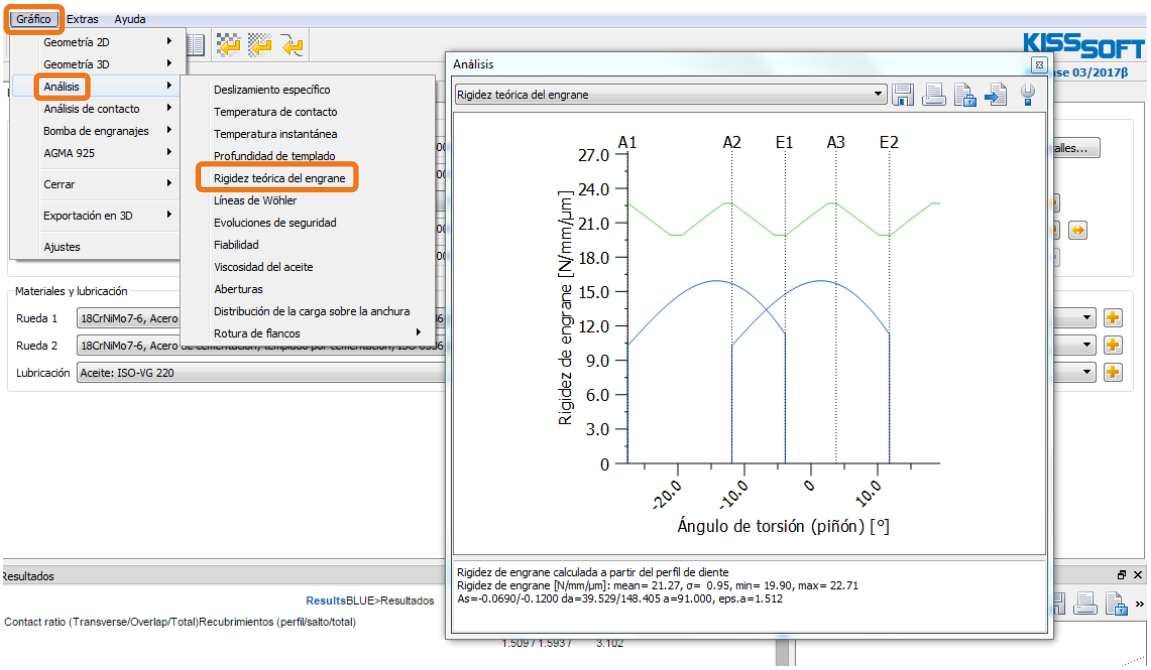


Figura 22. Desarrollo de la rigidez teórica del engrane

3.3 Dimensionado de un dentado alto

En el siguiente paso se puede mejorar la solución elegida. Para ello, aumente a 2 la relación de contacto aparente ε_α. En el caso de que más tarde se proceda a un alivio de cabeza, será necesaria una relación de contacto un poco más elevada porque ésta será reducida por el alivio. En caso de un dimensionamiento de dentado alto, la relación de contacto resultante debe aumentarse aún más (la relación de contacto deseada puede ajustarse en **"Ajustes específicos del módulo"**, pestaña **"Dimensionados"**).

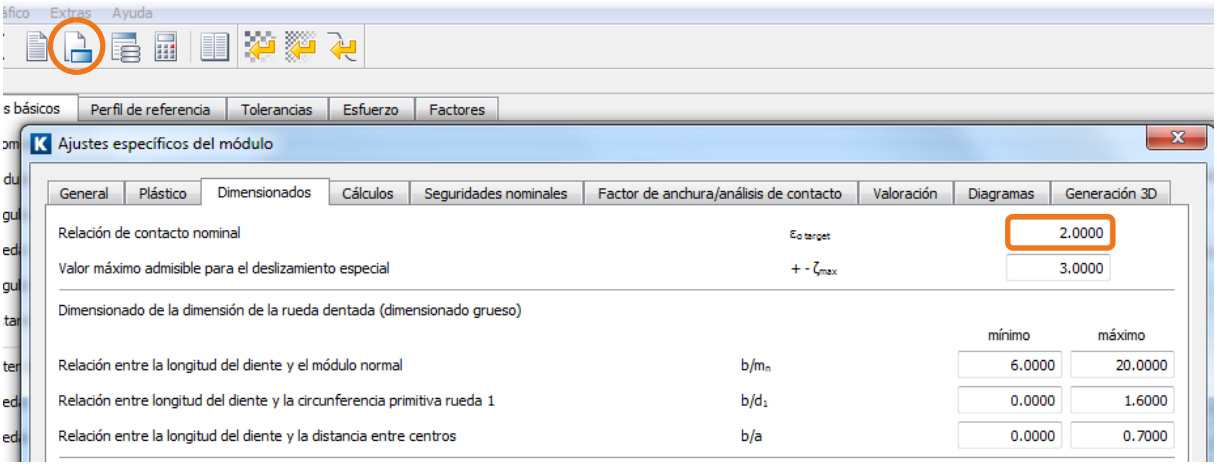


Figura 23. Ajustes específicos del módulo

Para dimensionar un dentado alto, seleccione nuevamente el **"Dimensionado fino"** y, a continuación, en **"Especificaciones III"** elige la casilla de verificación **"Dimensionar dentado alto"**. Con el botón Calcular se calculan los nuevos valores.

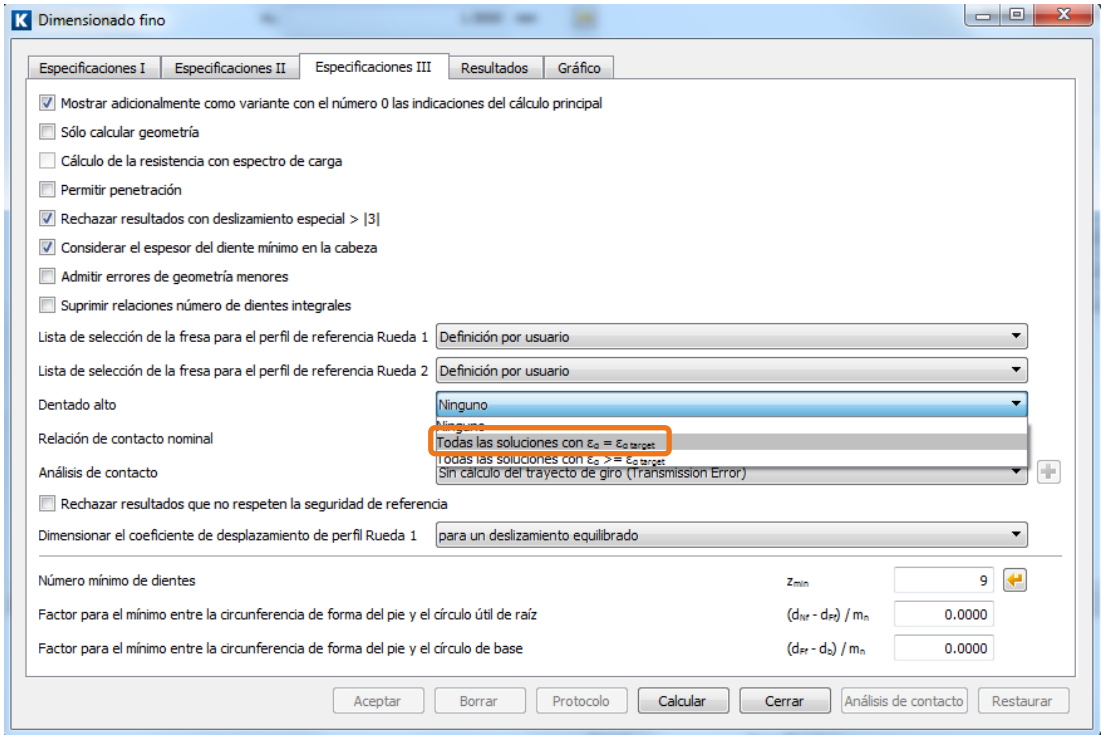
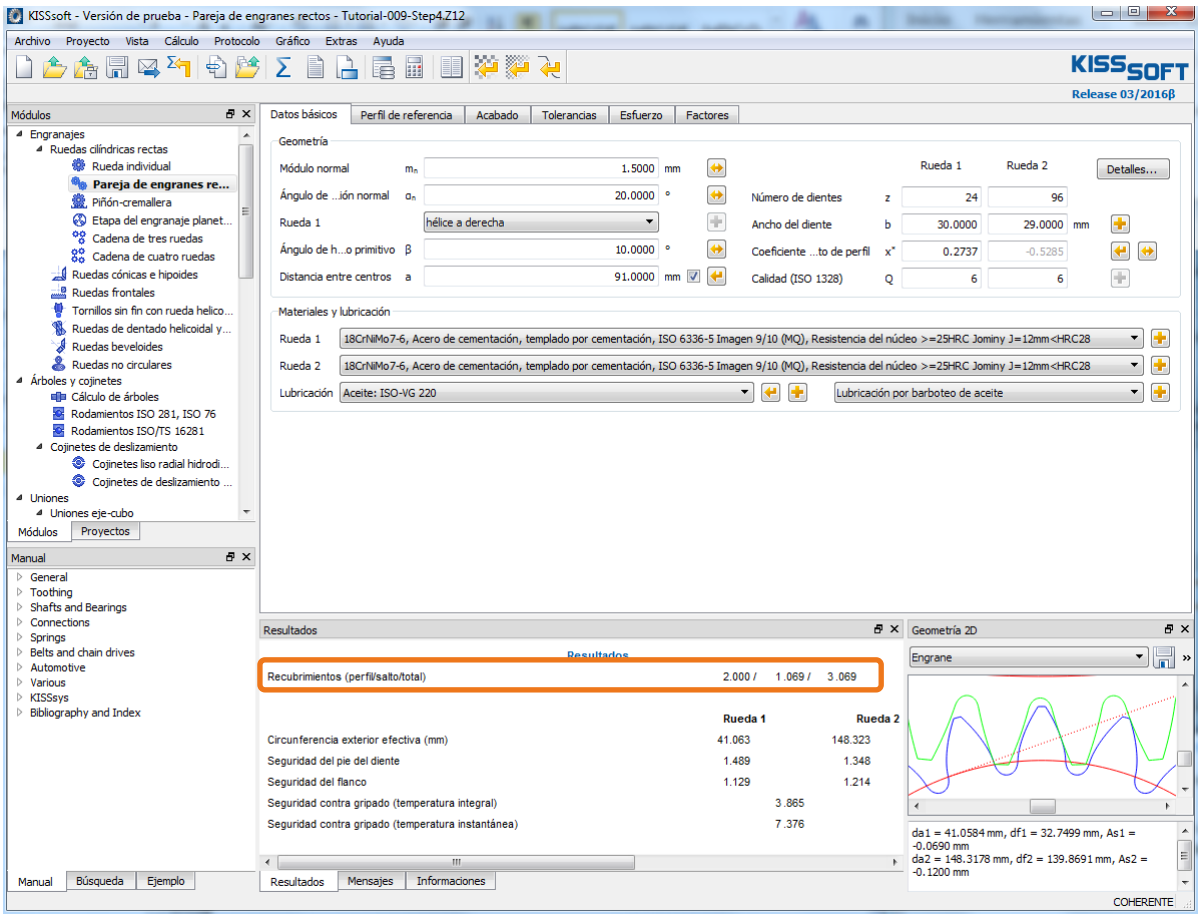


Figura 24. Ajustes en el dimensionado fino, seleccione "Dimensionar dentado alto"

Ahora, la mejor variante respecto al ruido es la número 46. Tras seleccionar esta solución mediante el botón **"Aceptar"**, se transfieren los datos para esta variante. Cuando realice ahora el dimensionado del dentado alto, los perfiles de referencia habrán sido modificados.

Los datos de las ruedas dentadas aparecen nuevamente en la ventana principal (número de dientes modificado, ángulo de hélice, desplazamiento de perfil) y los nuevos resultados se calculan inmediatamente al aceptarlos:



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

Figura 25. Nuevos datos de dentado y resultados, particularmente la relación de contacto

El perfil del diente resultante se muestra en una ventana de gráfico como **"Geometría 2D“**. Aquí se puede reducirlo o ampliarlo mediante el botón o con doble clic en el botón izquierdo del ratón en el área gris para convertirlo en una ventana flotante y ampliarla:

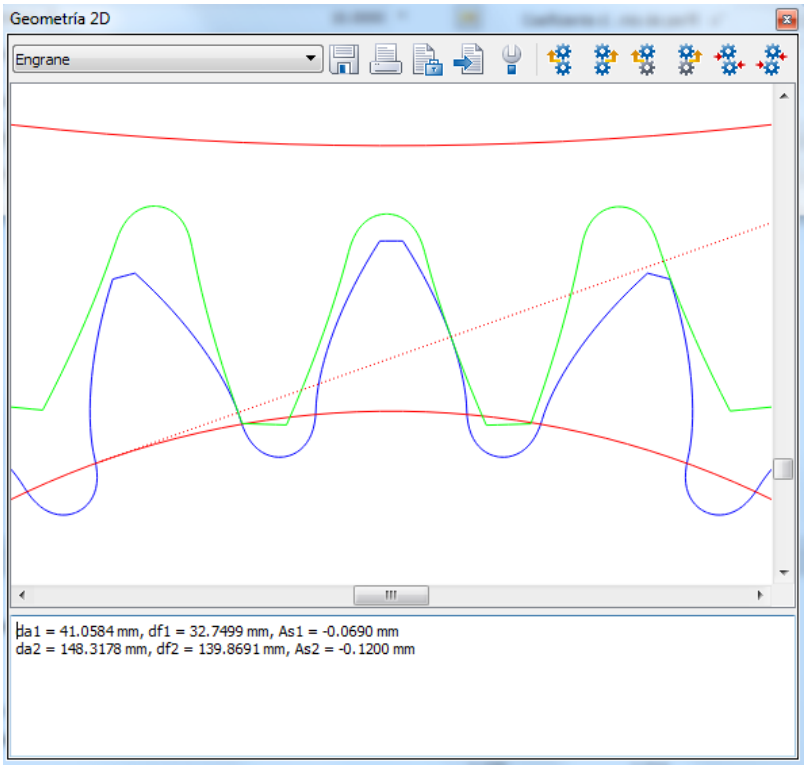


Figura 26. Dentado alto resultante

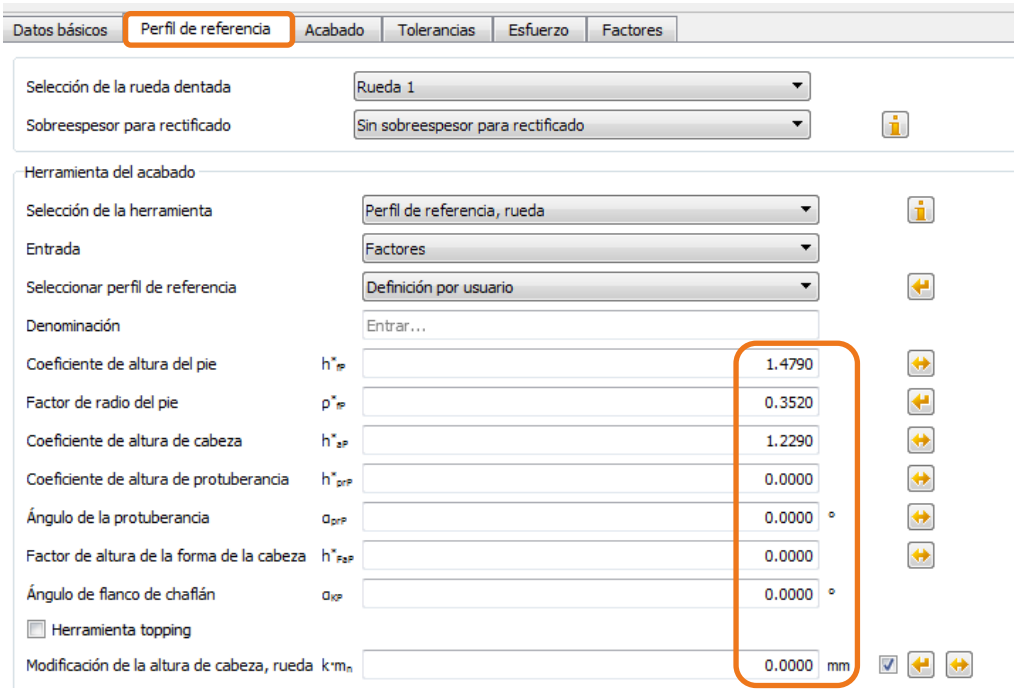


Figura 27. Detalles del perfil de referencia para dentado alto en la pestaña "Perfil de referencia"

La relación de contacto resultante está ahora muy cerca de 3, lo que indica una rigidez de engrane muy equilibrada:

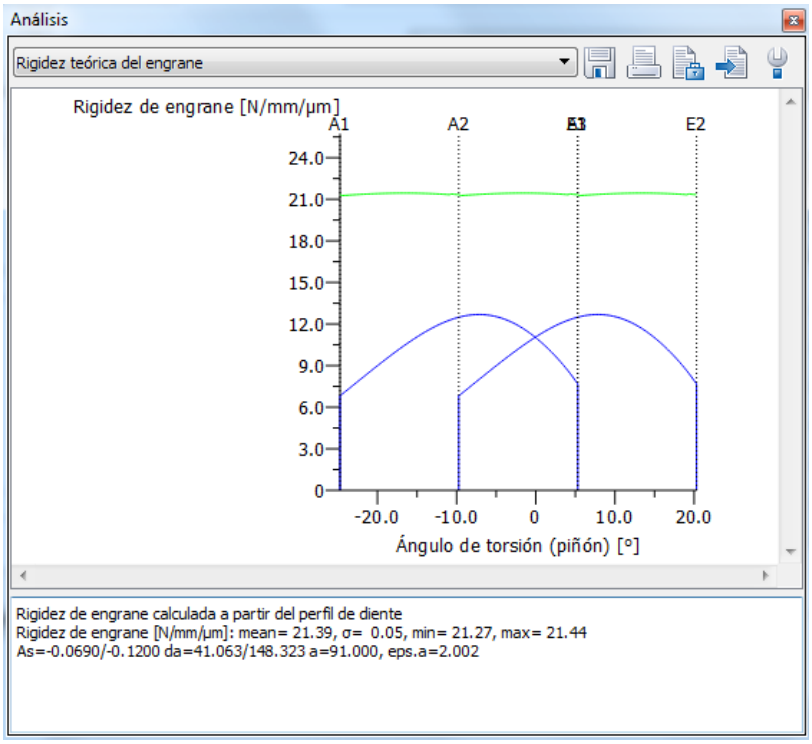


Figura 28. Curva de rigidez teórica del engrane

3.4 Detalles adicionales acerca del cálculo de la resistencia

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

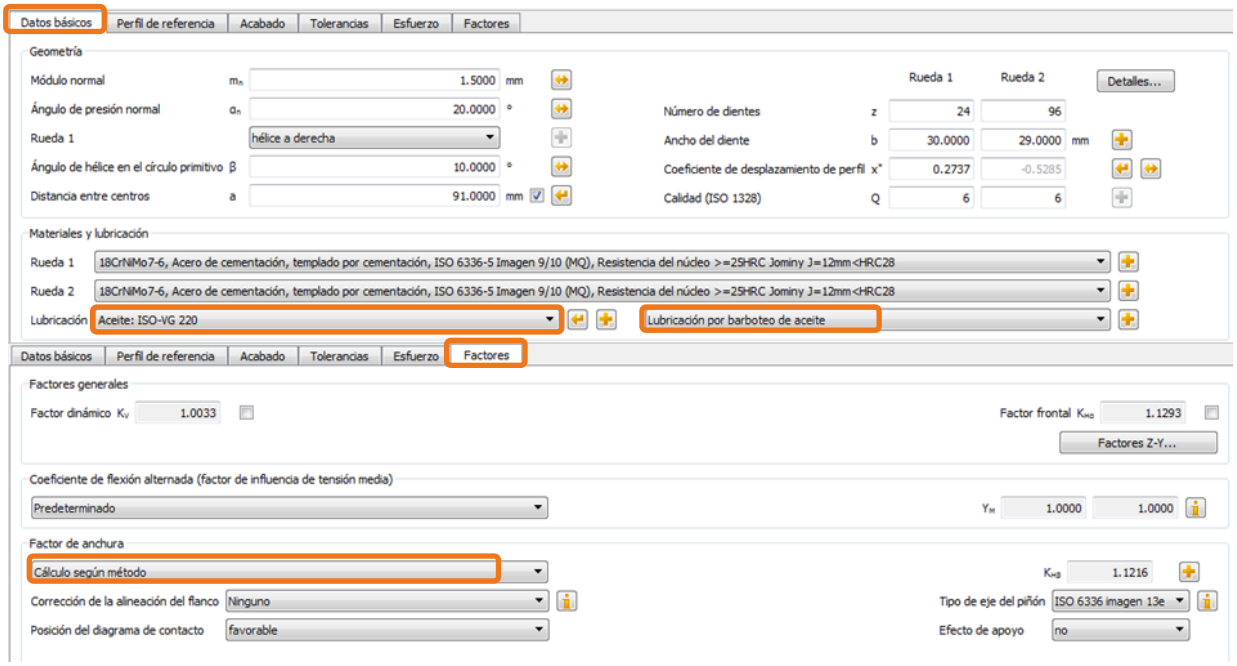


Figura 29. Entradas de la lubricación y selección de la entrada para el factor de anchura

Se puede seleccionar el tipo de lubricación así como el lubricante directamente de las listas desplegables (mostradas aquí a la derecha y a la izquierda, respectivamente). También se pueden introducir nuevos lubricantes mediante la herramienta de la base de datos.

La temperatura del lubricante se determina mediante el botón  (está en la parte inferior derecha en el grupo Materiales y Lubricación, ver Figura 29).
Las temperaturas operacionales, del entorno o de la carcasa pueden introducirse mediante la pestaña **"Movimiento muerto entre flancos de servicio"** (ver marcado en la figura de abajo).

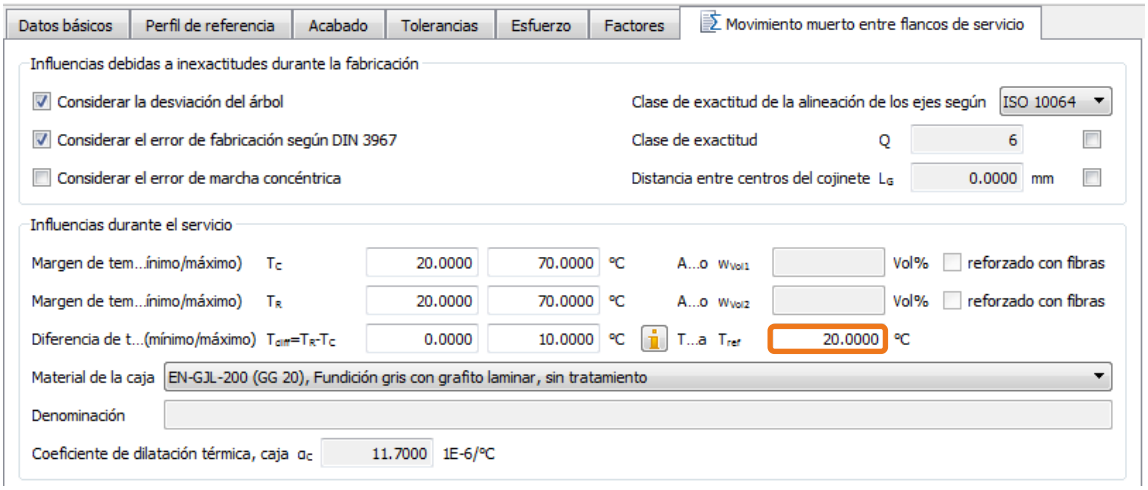
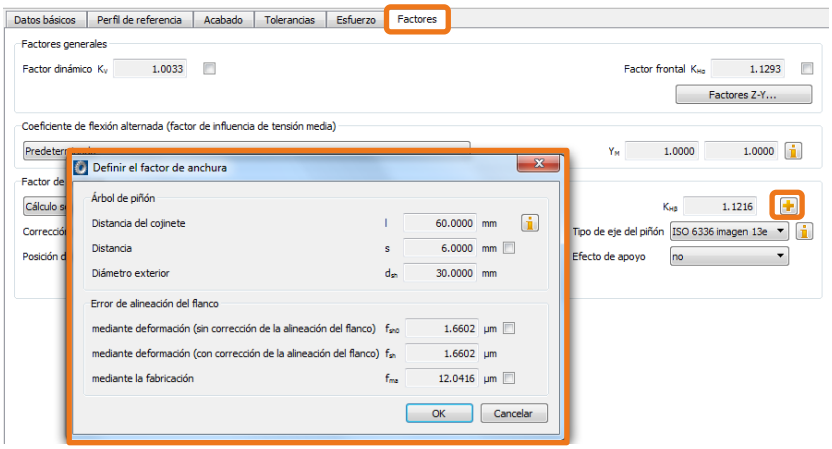


Figura 30. Movimiento muerto entre flancos (juego interdental) de servicio



El factor de anchura puede definirse según los métodos A, B o C.

Puede encontrar más información sobre el tema en las instrucciones separadas "kisssoft-anl-072-D-Kontaktanalyse-Stirnradberechnung" que se puede solicitar a través del soporte técnico de KISSsoft.

Normalmente aquí no hace falta hacer modificaciones.

Figura 31. Datos para otros parámetros, principalmente entradas para la determinación del factor de anchura

Observación importante:
En caso que la resistencia o la vida sean relevantes para la valoración de las soluciones calculadas en el dimensionado fino, debe introducir estos datos antes de realizar el dimensionado fino.