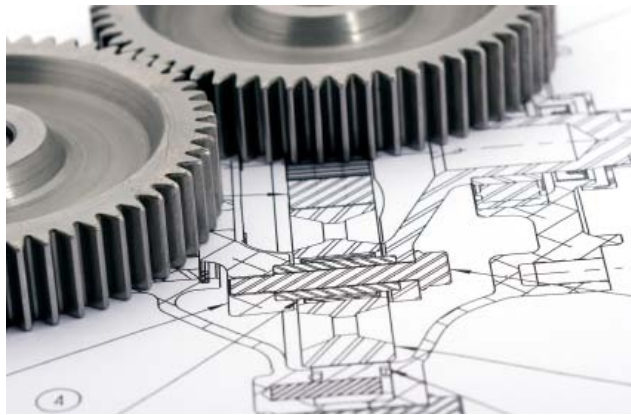




ELEMENTOS DE MÁQUINAS

TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES

Unidad 2. Elementos de Transmisión



Transmisión por engranajes, este sistema se constituye, en uno de los mecanismos más empleados y eficientes para transmitir movimiento entre dos ejes de una máquina.



ELEMENTOS DE MÁQUINAS

¿QUÉ ENCONTRAREMOS EN ESTE DOCUMENTO?

Generalidades	3
Introducción	3
Tipos de materiales	5
Partes de una rueda dentada	6
Nomenclatura de una rueda dentada	7
Clasificación de los engranajes	9
Tipos de clasificaciones.....	9
Clasificación según la posición de los ejes de conexión.....	10
Clasificación según la forma de los dientes del engranaje	11
Relación de transmisión.....	14
Diseño	16
Diseño de una transmisión por engranajes	16
Enlaces de interés	21
Dónde podemos encontrar más información	21

Generalidades

Introducción

Cuando, se requiere transmitir movimiento entre, ejes de una máquina se suelen emplear engranajes, este sistema se constituye, en uno de los mecanismos más empleados y eficientes para transmitir movimiento entre dos ejes de una máquina, dado que permiten establecer diferentes configuraciones entre los ejes, y no existen problemas de deslizamiento entre los cuerpos que rotan por lo que las velocidades de rotación serán constantes.



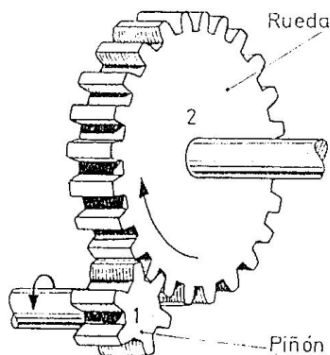
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Un sistema de transmisión por engranajes está, formado básicamente por dos ruedas dentadas, que engrana entre si y que a su vez, van montadas en ejes que finalmente transmiten el movimiento a otro dispositivo o máquina.

Una rueda dentada es simplemente un elemento mecánico circular en cuya periferia se han tallado dientes iguales y equidistantes, de forma, que en el espacio entre dientes encaje perfectamente un diente de otra rueda dentada.



Técnicamente cuando se hace referencia a una sola rueda, esta se denomina rueda dentada y cuando se hace referencia a dos ruedas solidarias que encajan perfectamente, se denominan engranaje. Es también importante mencionar que a cada rueda del engranaje se le asigna un nombre, rueda o corona, para la rueda dentada más grande y piñón, a la rueda dentada de menor tamaño.



Las funciones principales de los engranes y de las transmisiones de los engranes, son: reducción de la velocidad, multiplicación del momento de torsión o **par motor** y permiten variar la posición de los árboles o ejes.

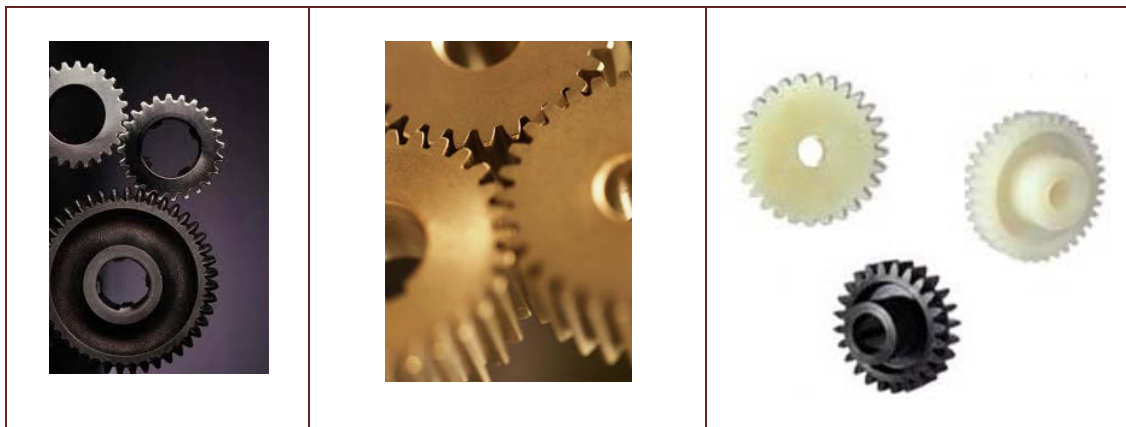
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Tipos de materiales

La mayoría de los engranajes se fabrican de hierro fundido o acero para aplicaciones de trabajo pesado, incluyendo algunas veces tratamientos especiales para evitar el desgaste de los dientes.

Acero	hierro fundido
	

Pero también se fabrican de latón, bronce o polímeros si la aplicación lo exige, obteniéndose engranajes más silenciosos y libres de lubricación, caso particular de aplicaciones en electrodomésticos, donde los engranajes son de polímeros o algún tipo de material plástico

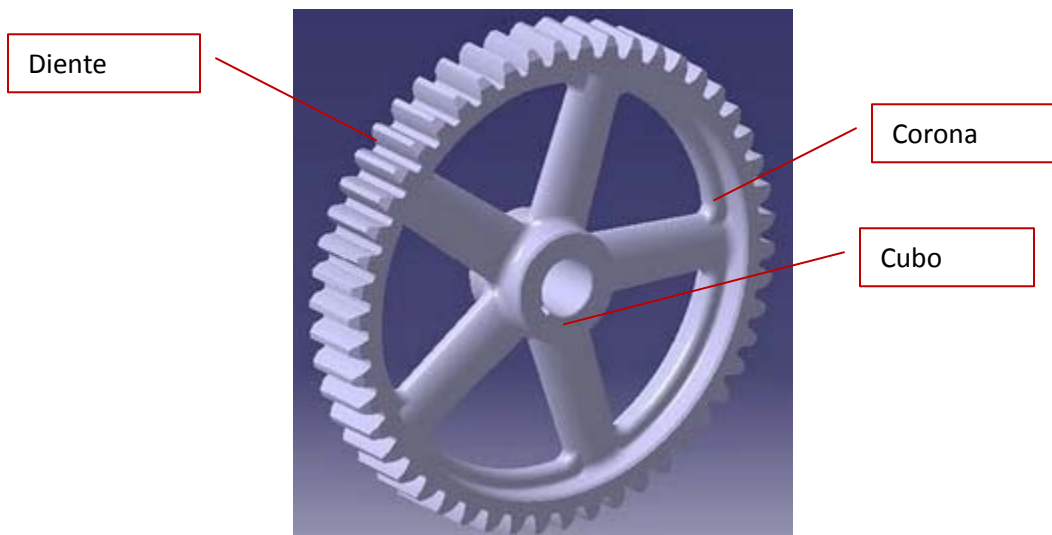


ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Partes de una rueda dentada

Considerando de forma aislada una rueda dentada se pueden identificar algunas partes principales, ellas son: los dientes, la corona, y el cubo.

Los dientes son las salientes por medio de las cuales se realiza la transmisión entre dientes de diferentes ruedas, la corona es la parte periférica en la cual están tallados los dientes y el cubo es la parte por la que se une la rueda con el eje. Cuando la rueda es de gran tamaño se suelen construir radios entre la corona y el cubo, con el objetivo de hacer la rueda más liviana y evitar deformaciones o deflexiones del eje por efecto de un elevado peso de la rueda dentada, lo cual lógicamente también incluiría un diseño más robusto del eje, lo cual es innecesario y más costoso.



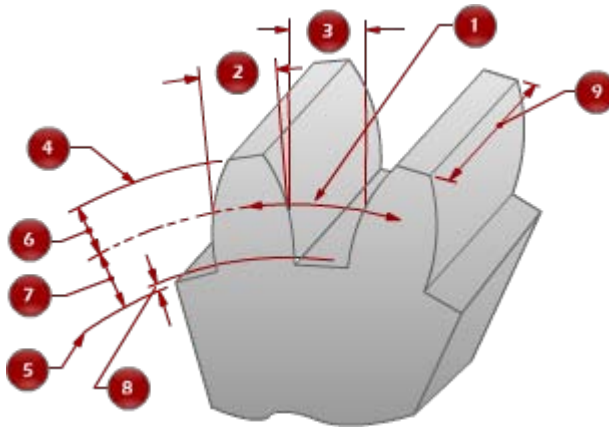
Cuando la rueda es pequeña no se suelen hacer los radios, por lo que el cubo y la corona se unan por medio de un disco sólido o plato.



ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Nomenclatura de una rueda dentada

En el diseño y cálculo de los engranajes, se deben establecer ciertos parámetros, que permiten definir las ruedas tanto geométrica como dimensionalmente. Con el objetivo de identificar dichos parámetros y establecer la relación entre los mismos, se analizará a continuación la nomenclatura aplicada a una rueda dentada.



1. **Paso circunferencial**: distancia entre puntos homólogos de dos perfiles consecutivos de una misma rueda, medida sobre la circunferencia primitiva de referencia (Diámetro primitivo). Para que dos ruedas engranen deben tener el mismo paso.
2. **Espesor de diente**: el espesor del diente equivale a la mitad del paso circunferencial.
3. **Ancho de espacio o espacio entre dientes**: el espacio entre dientes equivale a la mitad del paso circunferencial.
4. **Circunferencia de cabeza**: circunferencia que limita los dientes por su parte superior.
5. **Circunferencia de pie**: circunferencia que limita el hueco entre dientes por su parte inferior. El hueco debe ser suficientemente profundo para dejar pasar la cabeza de los dientes de la otra rueda.
6. **Altura de cabeza**: distancia radial entre la circunferencia primitiva y la cabeza del diente.
7. **Altura de pie**: distancia radial entre la raíz del diente y la circunferencia primitiva.



ELEMENTOS DE MÁQUINAS

8. **Holgura o juego circunferencial:** espacio que queda al acoplar una pareja de dientes. Es necesaria para permitir la deflexión de los dientes, el paso del lubricante y la expansión térmica.
9. **Ancho de cara:** ancho del engranaje.

+ Factores de dimensionamiento de las ruedas dentadas

- **Diámetro primitivo:** diámetro de un círculo imaginario sobre el cual se diseñan los dientes de engranaje.
- **Diámetro exterior:** diámetro externo del engranaje, equivale al diámetro primitivo más dos veces la altura de cabeza.
- **Diámetro interno o de raíz:** diámetro base de los dientes
- **Módulo:** cociente entre el diámetro primitivo de referencia y el número de dientes. Dos ruedas engranan si tienen el mismo módulo.
- **Paso diametral (diametral pitch):** cociente entre el número de dientes y el diámetro primitivo de referencia expresado en pulgadas.
- **Altura total:** suma de la altura de cabeza y la de pie.

Clasificación de los engranajes

Tipos de clasificaciones

En general los engranajes se pueden clasificar de dos formas:

- Una primera clasificación se relaciona con la **posición de los ejes** en los que van montados los engranajes.
- Una segunda clasificación, según la **forma de los dientes del engranaje**.



ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Clasificación según la posición de los ejes de conexión

Sistema de ejes paralelos	Sistema de ejes que se interceptan
<p>Dos o más de los engranajes utilizan ejes paralelos entre sí. Se emplea en los engranes reductores para cambiar la velocidad y la dirección del movimiento de los ejes. En esta configuración de ejes paralelos se emplean engranajes rectos, helicoidales y helicoidales dobles.</p>	<p>Los engranajes que entran en contacto están sobre ejes que no son paralelos entre sí, pero en la proyección de sus ejes se interceptan. Se usan para cambiar la dirección del movimiento. En esta configuración de ejes que se interceptan se emplean engranajes cónicos rectos y cónicos helicoidales.</p>
	

Sistema de ejes que no se interceptan
<p>Los ejes de los dos engranajes tienen ángulos rectos y no se cortan si se extienden sus líneas de eje. En esta configuración de ejes que no se interceptan se emplean engranajes helicoidales cruzados, engranajes hipoideas, engranajes de rueda y tornillo sin fin y engrane de cremallera y piñón, siendo esta última configuración empleada únicamente para convertir movimiento giratorio del piñón en desplazamiento lineal de la cremallera.</p>


ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Clasificación según la forma de los dientes del engranaje

Engranés rectos	Engranés helicoidales
<p>Tienen forma cilíndrica. Los dientes son rectos y paralelos a los ejes. Tienen una capacidad de manejo de baja carga y además son un poco más ruidosos que otros tipos de engranajes. Pueden ser externos e internos.</p>	<p>Son de forma cilíndrica y dientes que se cortan con cierto ángulo respecto al eje. Tiene mayor capacidad de carga, además, de proporcionar una operación más suave y silenciosa. El ángulo entre el diente del engrane y el eje del árbol recibe el nombre de ángulo helicoidal.</p>
	
Engranés helicoidales dobles (espina de pescado)	Engranés cónicos rectos
<p>Cada uno de ellos tienen dientes helicoidales con hélice hacia la derecha y hacia la izquierda.</p>	<p>Tienen forma cónica, por lo común forman ángulos rectos. Tienen elementos rectos de los dientes los cuales, si se prolongarían, pasarían por el punto de intersección de sus ejes.</p>
	

ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Engranés cónicos helicoidales

Los engranajes cónicos helicoidales se caracterizan por tener dientes curvos y oblicuos, y sus ejes se interceptan.



Engranés helicoidales cruzados

El engrane y el piñón son helicoidales colocados en ángulo recto. Se usan para cambiar la dirección del movimiento en situaciones de carga baja.



Engranés cónicos hipoides

Son engranajes cónicos con ejes desplazados 90 grados y que se emplean para cambiar la dirección del movimiento. Se utiliza cuando se desea un alto grado de resistencia junto con una operación suave y silenciosa.



Engrane de tornillo sin fin

Es un engrane helicoidal y un eje roscado Acme. Se utiliza para reducciones grandes de velocidad en áreas pequeñas.





ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Cremallera y piñón
Este mecanismo está conformado por un piñón recto sobre un eje, que se hace engranar en un engrane recto y plano. Se utilizan para convertir movimiento giratorio en movimiento lineal.

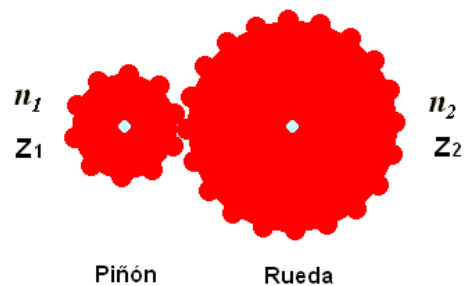


ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Relación de transmisión

Un parámetro fundamental para el diseño de un sistema de engranajes es la relación de transmisión, que para el caso del sistema de transmisión por engranajes se define como el cociente entre el número de dientes de la rueda conducida y el número de dientes de la rueda conductora. La relación de transmisión también se puede expresar en términos de la velocidad de rotación de las ruedas.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2}$$



En la práctica hay diversas variaciones de la disposición de la rueda y el puño y esto con el objetivo de obtener sistemas reductores o amplificadores de la velocidad.

Sistema reductor

En este sistema el piñón es el engranaje motriz y la rueda es el engranaje conducido, por lo que la velocidad de rotación de la rueda conducida será menor que la velocidad de rotación del piñón conductor. Esta condición hace que la velocidad de salida del sistema sea menor que la velocidad de entrada.

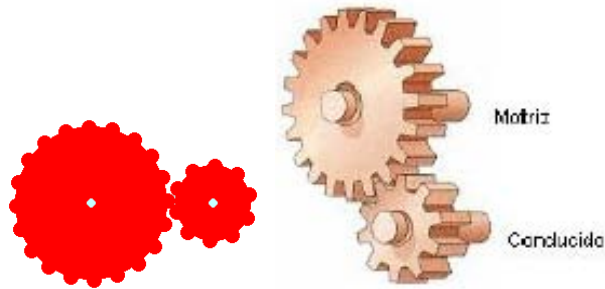




ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Sistema amplificador

En este sistema el piñón será el engranaje conducido y la rueda el elemento motriz, por lo que la velocidad de rotación del piñón conducido será mayor que la velocidad de rotación de la rueda conductora. Esta condición hace que la velocidad de salida sea mayor que la velocidad de entrada.



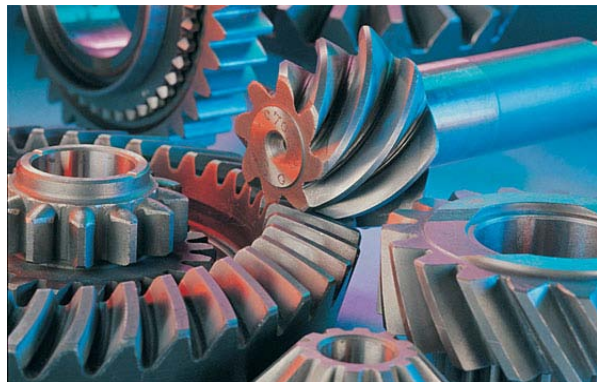


ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Diseño

Diseño de una transmisión por engranajes

El diseño de una transmisión por engranajes suele ser complejo e incluir varias iteraciones con el objetivo de obtener el mejor resultado. Este diseño tiene por objetivo establecer los parámetros que permiten definir geoméricamente las ruedas dentadas del engranaje.



El diseño de una transmisión por engranajes debe basarse en los estándares definidos por la AGMA (American Gear Manufacturers Association) e inicia determinando las características de los materiales con los que se construirán las ruedas, es decir los esfuerzos superficiales permisibles para flexión y para el contacto.



Para estructurar el diseño se asignara un numeral a cada paso del diseño.

1. Selección previa de los materiales de los engranaje

Los materiales más usados en engranajes son los aceros, el hierro fundido, bronces y materiales termoplásticos. Siendo los aceros los más empleados dado que proporcionan mayor resistencia, mientras que los materiales termoplásticos se limitan a transmisiones de muy baja potencia.

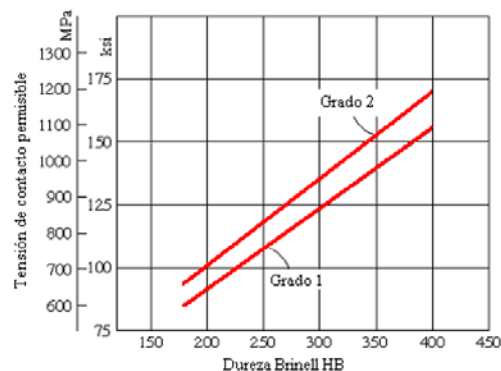
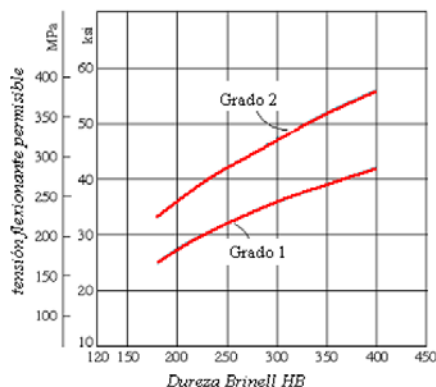
La selección de los aceros y de sus durezas depende de las velocidades de las ruedas. Para velocidades bajas se requieren durezas del orden de 350 HB o menores, mientras que para velocidades altas se prefieren durezas mayores de 350 HB, ya que se requiere mayor resistencia superficial.

Esta condición implica que como variables iniciales de cálculo se deben definir la velocidad de rotación tanto de la rueda como del piñón y hacer una elección previa de materiales que satisfagan las durezas, según la velocidad de las ruedas. Es decir se deben establecer las propiedades de dureza de los materiales.

En la práctica los fabricantes de aceros establecen las características de sus aceros o simplemente como valores de referencia, se pueden emplear tablas de diseño donde se incluyen las propiedades de los materiales, entre ellos los aceros.

2. Estimación de los esfuerzos admisibles S_f

Para determinar los esfuerzos superficiales admisibles a la flexión S_{ff} y al contacto S_{fc} en función de la dureza del material podemos emplear gráficas que relacionan estas variables. Como ejemplo se suministran las gráficas de la AGMA.





ELEMENTOS DE MÁQUINAS

3. Estimación de la distancia entre centros.

Para estimar un valor previo de la distancia entre centros se puede emplear la siguiente ecuación.

$$L \geq (i + 1) \sqrt[3]{\left(\frac{340000}{S_{fc} \times i}\right)^2 \times \frac{1}{\psi} \times \frac{K}{C} \times \frac{P}{\eta}}$$

Donde:

- **L**, es la distancia entre centros [cm].
- **i**, es la relación de transmisión.
- **S_{fc}**, es el esfuerzo admisible superficial al contacto de la rueda [kgf/cm²].
- **K**, es un factor que depende de las cargas dinámicas y de la concentración de esfuerzos, varía entre 1,3 y 1,5.
- **ψ**, es el coeficiente de anchura de la rueda, el cual se toma entre 0.2 y 0.6.
- **C**, es un coeficiente que tiene en cuenta el mayor rendimiento de las ruedas helicoidales, y oscila entre 1.15 y 1.35 para éstas, (C = 1, para ruedas cilíndricas de dientes rectos)
- **P**, es la potencia [Kw.]. La potencia se calcula por separado para cada rueda en función del torque y la velocidad de rotación y se toma el mayor valor.
- **n**, es la velocidad de rotación de la rueda conducida [rpm].

4. Elección del módulo.

El criterio para seleccionar el modulo es el siguiente:

$$0,01L < m < 0,02L$$

Se recomienda tomar un valor normalizado que puede asumir los siguientes valores: 1 ; 1,25 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10 ; 12 ; 16 ; 20 ; 25 mm.



ELEMENTOS DE MÁQUINAS

5. Elección del ángulo de inclinación de los dientes.

El ángulo de inclinación de los dientes para engranajes de dientes rectos $\beta=0^\circ$.

El ángulo de inclinación de los dientes para engranajes de dientes helicoidales varía entre el siguiente rango. $\beta=7^\circ$ y $\beta=35^\circ$.

6. Estimación del número de dientes.

Para determinar el número de dientes tanto del piñón como de la rueda podemos emplear las siguientes ecuaciones.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad \text{y} \quad Z_1 + Z_2 = \frac{2L \cos \beta}{m}$$

Como no se conoce el número de dientes de ninguna de las ruedas se reemplaza Z_2 en función de la relación de transmisión de la segunda ecuación y se obtiene Z_1 .

Si los valores del número de dientes no son enteros se redondean y se recalcula la relación de transmisión.

7. Precisión de la distancia entre centros

Conocidos los valores enteros del número de dientes de cada rueda, se debe recalcular el valor de la distancia entre centros.

$$L = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \times \frac{m}{\cos \beta}$$

8. Diámetros primitivos.

Los diámetros primitivos están dados por:

$$D_1 = \frac{m \times Z_1}{\cos \beta} \quad \text{y} \quad D_2 = \frac{m \times Z_2}{\cos \beta}$$

ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Una vez determinados los valores básicos de los engranajes se pueden obtener los demás valores de diámetros externos, internos, paso diametral, altura de cabeza, altura de pie, entre otros, que permiten determinar geométrica y dimensionalmente los engranajes, dichos valores se obtienen con relaciones básicas.

Como ejemplo se suministra la siguiente tabla:

Parámetro	Designación	Unidades	Fórmula
Relación de transmisión	i	-	$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{D_2}{D_1}$
Número de dientes	Z_1 y Z_2	-	
Módulo	m	mm	Se escoge un valor normalizado
Ángulo de presión	α	grados	$20^\circ, 22.5^\circ, 25^\circ$
Paso circunferencial	p_c	mm	$p_c = m\pi$
Paso básico	p_b	mm	$p_b = p_c \cos \alpha$
Diámetro primitivo	D	mm	$D = mZ$
Diámetro básico	D_b	mm	$D_b = D \cos \alpha$
Altura de cabeza	h_1	mm	$h_1 = m$
Altura de raíz	h_2	mm	$h_2 = 1.25m$
Altura total del diente	h	mm	$h = h_1 + h_2 = 2.25m$
Huelgo radial	c	mm	$c = h_2 - h_1 = 0.25m$
Diámetro exterior	D_e	mm	$D_e = D + 2m = m(Z + 2)$
Diámetro interior	D_i	mm	$D_i = D - 2.5m = m(Z - 2.5)$
Espesor del diente sobre la circunferencia primitiva	S	mm	$S = \frac{p_c}{2} = \frac{m\pi}{2}$
Velocidad periférica	v	Ej: m/s	$v = \pi Dn$
Distancia entre centros	L	mm	$L = \frac{D_1 + D_2}{2} = m \frac{Z_1 + Z_2}{2}$

Como paso adicional se debe probar los engranajes por resistencia a la fatiga superficial y por resistencia a la flexión y en ambos casos se debe verificar los factores de seguridad. Estos permitirán determinar si las ruedas dentadas proporcionan la resistencia necesaria o si por el contrario es posible que fallen, con lo que se deberá realizar un recálculo de todas las variables, empezando por seleccionar un material que proporcione unas mejores características de resistencia.



Enlaces de interés

Dónde podemos encontrar más información

🔗 Engranajes

<http://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje>

http://pdf.directindustry.es/pdf/cross-morse/catalogo-general-de-productos/20096-133047-_10.html

<http://www.cross-morse.co.uk/Spanish/index2.html?main.asp&0>

🔗 Tipo de engranajes

http://www.electronicaestudio.com/docs/1550_Tutorial_de_ENGRANES.pdf