

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Subdirección Académica.

Área: Ingeniería Mecánica.

REPORTE DE AÑO SABÁTICO

(Primera parte)

ELABORACIÓN DE LIBRO DE TEXTO:

METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN

Ing. Victor Manuel Vázquez Ramírez

Del 13 de agosto de 2018 al 13 de febrero del 2019.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
1. INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS	3
1.1. La metrología como ciencia.....	3
1.2. Importancia y necesidades de las mediciones	3
1.3. Sistemas de unidades y patrones.....	4
1.4. Conceptos de medidas, precisión y exactitud.....	7
1.5. Sensibilidad – Incertidumbre	8
1.6. Errores en las mediciones	9
1.7. Calibración y verificación de los instrumentos de medición.....	11
2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN DE MAGNITUDES LINEALES Y ANGULARES	13
2.1. Instrumentos básicos (Regla, compás, lainas, cuenta hilos, patrones de radios).....	13
2.2. Calibrador de pie de rey, de carátula, electro-digitales, de profundidad	16
2.3. Micrómetros (de interiores, de profundidad, digitales)	19
2.4. Instrumentos de comparación.	21
2.5. Instrumentos para medición angular (escuadra universal, goniómetro, regla de senos)	23
3. MEDICIÓN, VERIFICACIÓN Y TOLERANCIA DE ROSCAS Y ENGRANES.....	25
3.1. Roscas.....	25
3.1.1. Forma geométrica de sistemas de Roscas.	26
3.1.2. Control de paso y de perfil de la rosca.....	31
3.1.3. Tolerancias y posiciones normalizadas	33
3.2. Engranés.....	41
3.2.1 Medición del espesor del diente	47
3.2.2 Comprobación del perfil del diente	50
3.2.3 Comprobación del paso circular.....	52
3.3 Comprobación de la concentricidad	53
3.4 Comprobación del diámetro primitivo.....	54
3.5 Tolerancias normalizadas.....	56
INDICE DE FIGURAS.....	58
FUENTES DE INFORMACIÓN	60

INTRODUCCIÓN.

Los siguientes apuntes de la materia de metrología y normalización tienen como fin ser el apoyo didáctico de los alumnos de dicha materia. Cabe señalar que muchos de los temas que se tratan son solo introductorios debido a las limitaciones de tiempo de cada semestre, también se debe destacar que estos apuntes tienen el fin de ser un apoyo para la enseñanza en competencias.

Los temas están organizados de acuerdo con el programa oficialmente autorizado con clave AEH-1393 para metrología y normalización de ingeniería mecánica que se imparten en el sistema Tecnológico Nacional de México.

Esta asignatura da las bases para aplicar e interpretar normas y procedimientos a nivel nacional e internacional para afrontar con éxito la producción de bienes y servicios. A través de los instrumentos de medición de mayor aplicación apoyara la certificación y/o acreditación con las normas vigentes, que se utilizan en los diferentes procesos de fabricación, los sistemas de manufactura y la gestión de los sistemas de calidad.

La metrología que estudia los procesos de medida de magnitudes relacionadas con la longitud: distancias, formas, ángulos, características geométricas, etc. Esta asignatura es de gran importancia en la industria en general, pero muy especialmente en la de manufactura pues las dimensiones y la geometría de los componentes de un producto son características esenciales del mismo, ya que, entre otras razones, la producción de los diversos componentes debe ser dimensionalmente homogénea, de tal suerte que estos sean intercambiables aun cuando sean fabricados en distintas máquinas, en distintas plantas, en distintas empresas o, incluso, en distintos países.

En la primera unidad hace referencia a la introducción y conceptos básicos de la medición, en la segunda unidad es aplicación y manejo de los instrumentos de medición, Instrumentos de medida y verificación de magnitudes lineales y angulares y en la tercera unidad medición, medición, verificación y tolerancia de roscas y engranes.

1. INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. La metrología como ciencia

La metrología (del griego “Metron”, medida y “logos” estudio, ciencia o tratado).

Se puede definir metrología como: La ciencia que tiene por objeto el estudio de sistemas de medida.

Metrología: ciencia que tiene por objeto el estudio de sistemas de unidades y de las magnitudes, definen también las exigencias técnicas de los métodos e instrumentos de medida.

Comprende todos los aspectos tanto teóricos como prácticos, que se refieren a las mediciones, en campos como la ciencia y la tecnología.

El avance científico ha estado ligado con los avances en las mediciones y son un medio para descubrir los fenómenos naturales de manera cuantitativa. Cierta químico ruso (Mendeléyev) dijo: “la ciencia comienza donde empieza la medición, no siendo posible la ciencia exacta en la ausencia de mediciones”

1.2. Importancia y necesidades de las mediciones

Las mediciones son importantes porque se usan todos los días, para describir una simple altura, una distancia, en la industria, en centros de investigación y en muchos campos. Es prácticamente imposible describir cualquier cosa sin referirse a la metrología.

Son necesarias en todas las profesiones porque nos permiten conocer de forma cuantitativa las propiedades físicas, químicas, térmicas, eléctricas, etc. De los materiales. Los beneficios que se tienen son varios:

- Proporciona los medios técnicos necesarios para asegurar mediciones correctas.
- Garantiza un sistema congruente de medición a través de las unidades de medida adecuadas.
- Apoya la competitividad en la industria a través de medidas y ensayos exactos.
- Facilita la investigación y el desarrollo. Proporciona herramientas de medida que facilitan el control de la calidad.
- Permite la normalización internacional de los diferentes productos.

1.3. Sistemas de unidades y patrones

Sistemas de unidades

- Sistema internacional (SI)

Actualmente se reconoce al Sistema Internacional (SI) de Unidades como un sistema universal y su aplicación se está extendiendo gradualmente a todo los países y campos de la ciencia y la ingeniería.

En el SI se reconocen siete unidades básicas:

Unidad de tiempo. El segundo (s) es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.

Unidad de longitud. El metro (m) es la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de $1/299\,792\,458$ de segundo.

Unidad de masa. El kilogramo (kg) es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo.

Unidad de intensidad de corriente eléctrica. El ampere (A) es la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de un metro uno de otro en el vacío, produce una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud.

Unidad de temperatura termodinámica. El kelvin (K), unidad de temperatura termodinámica, es la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

Unidad de cantidad de sustancia. El mol (mol) es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kilogramos de carbono 12. Cuando se emplee el mol, deben especificarse las unidades elementales, que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas o grupos especificados de tales partículas.

Unidad de intensidad luminosa. La candela (cd) es la unidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hertz y cuya intensidad energética en dicha dirección es $1/683$ Watt por estereorradián.

Tabla 1 Sistema de unidades fundamentales

MAGNITUDES	UNIDADES	SIMBOLOS
Longitud	Metro	M
Masa	Kilogramo	Kg
Tiempo	Segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	Amper	A
Temperatura	Kelvin	K
Intensidad luminosa	Candela	Cd
Cantidad de sustancia	Mol	mol

Tabla 2 Sistemas de unidades derivadas

MAGNITUDES	UNIDADES	SIMBOLOS
Trabajo	Joule	J
Fuerza	Newton	N
Presión	Pascal	Pa
Potencial eléctrico	Volt	V
Potencia	Watt	W
Capacitancia	Farad	F
Carga eléctrica	Coulomb	C

Patrón

Un patrón puede ser un instrumento de medida, una medida materializada, un material de referencia o un sistema de medida destinado a definir, realizar o reproducir una unidad o varios valores de magnitud, para que sirvan de referencia.

Patrón internacional

Patrón reconocido por un acuerdo internacional para servir como referencia internacional para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada. La Conferencia General de Pesas y Medidas de la Convención del Metro es el organismo que reconoce los patrones internacionales y que se encuentran depositados en la oficina internacional de pesos y medidas (BIPM) en Sèvres, Francia.

Patrón nacional

Patrón reconocido por una decisión nacional, en un país, para servir como referencia para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada.

Patrón primario

Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones de la misma magnitud. Este concepto es válido tanto para las unidades básicas como para las derivadas.

Patrón secundario

Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

Patrón de referencia

Patrón, en general de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado o en una organización determinada, del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

Patrón de trabajo

Patrón que se utiliza corrientemente para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medida o materiales de referencia.

Un patrón de trabajo es habitualmente calibrado con un patrón de referencia.

Un patrón de trabajo utilizado corrientemente para asegurar que las medidas están realizadas correctamente se denomina patrón de control.

Patrón de transferencia

Patrón utilizado como intermediario para comparar patrones.

1.4. Conceptos de medidas, precisión y exactitud

Medida

Es una cantidad estandarizada de una determinada magnitud física.

Medición

Es un procedimiento en el cual se compara una cantidad desconocida, con un estándar conocido, usando un sistema de unidades aceptado y consistente.

Precisión

Se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor es la precisión. Cuanto más cercanas son las medidas más preciso será el sistema y esto es independiente al objetivo o a la dimensión correcta. En si se puede decir que la precisión es el grado de repetibilidad del resultado.

Exactitud

Se refiere a que tan cerca del valor real se encuentra el valor medido. En términos estadísticos, la exactitud está relacionada con la desviación o el sesgo de una estimación. Cuanto menor es el sesgo o la desviación más exacta es una estimación. Se podría resumir que exactitud es el grado de veracidad, mientras que precisión es el grado de reproductibilidad.

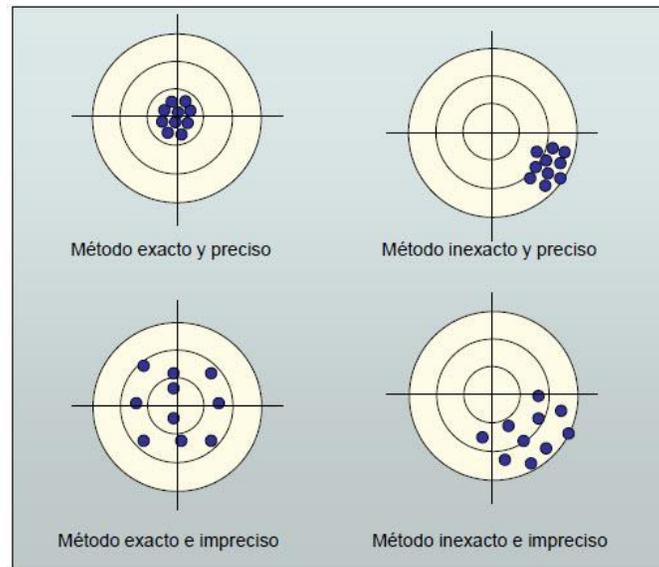


Fig. 1 Precisión y exactitud.

1.5. Sensibilidad – Incertidumbre

Sensibilidad

En los instrumentos de medición, como la mínima variación en la magnitud medida que puede apreciar el instrumento de medición.

Un instrumento de medida es tanto más sensible cuanto más pequeña sea la cantidad que puede medir.

La sensibilidad con que se fabrican los aparatos de medida depende de los fines a los que se destina. No tiene sentido fabricar un instrumento que aprecie una distancia en milésimas de pulgada para que la use una persona que construye carreteras.

Incertidumbre o inexactitud

Se define como la diferencia entre el valor medido y el valor convencionalmente verdadero del objeto que se está midiendo. Incertidumbre es la cuantificación de la duda que se tiene sobre el resultado de la medición.

Incertidumbre e inexactitud es igual al valor máximo menos el valor mínimo.

Ejemplo: La mesa mide 90cm de longitud, cuál será la incertidumbre de las siguientes 5 dimensiones.

90.03cm., 90.05 cm., 90.cm., 89.9cm, 89.95cm

La incertidumbre se obtendrá de la diferencia siguiente: 90.05cm menos 89.9cm

La incertidumbre o inexactitud es de 0.15

Cuanto menor la incertidumbre de las medidas, siempre será mejor.

1.6. Errores en las mediciones

Cuando se realizan mediciones, no es posible evitar una serie de errores, pero si buscar que estos sean mínimos. Aun cuando las efectúe la misma persona, el mismo día, el mismo método, el mismo instrumento, la misma pieza, puede existir variaciones en los resultados. A continuación se mencionan las siguientes clasificaciones.

- Clasificación general de los tipos de errores
- Clasificación de los errores de acuerdo con la causa de origen

Clasificación general de los tipos de errores

Los errores cometidos pueden clasificarse según se produzcan por la forma en la que se realiza la medida en:

Error accidental: Son aquellos que se producen debido a un error por causas diferentes y que no tienen por qué repetirse. Ejemplo: Leemos en el micrómetro una lectura y anotamos otra.

Error sistemático: Se debe a una mala realización de las medidas que se repite siempre. Ejemplos: Se hacen medidas con un aparato que tenga un defecto de fabricación, miramos siempre la probeta desde un ángulo equivocado (error de paralaje). Los errores sistemáticos son de signo conocido (ya que se tiene conciencia de que se está cometiendo y además se puede corregir). Por otra parte, cuando realizamos una medida nos alejamos siempre algo del valor real de la magnitud.

Para determinar la precisión de una medida usamos dos tipos de errores:

Error absoluto: Desviación entre el valor medido y el valor real. Tiene las mismas unidades que la magnitud medida.

Error relativo: Cociente entre el error absoluto y el valor real. Es adimensional. Nos da una idea más exacta de la precisión a la hora de comparar dos o más medidas.

Clasificación de los errores de acuerdo con la causa de origen

Errores del operador o por el modo de medición: Muchas de las causas del error aleatorio se deben al operador, por ejemplo: falta de agudeza visual, descuido, cansancio, alteraciones emocionales, etcétera. Para reducir este tipo de errores es necesario capacitar al operador.

Error por el uso de instrumentos no calibrados: Instrumentos no calibrados o cuya fecha de calibración está vencida, así como instrumentos sospechosos que pueden presentar alguna anomalía en su funcionamiento no deben utilizarse para realizar mediciones hasta que no sean calibrados y autorizados para su uso.

Error por la fuerza ejercida al efectuar mediciones: La fuerza ejercida al efectuar mediciones puede provocar deformaciones en la pieza por medir, el instrumento o ambos.

Error por instrumento inadecuado: Antes de realizar cualquier medición es necesario determinar cuál es el instrumento o equipo de medición más adecuado para la aplicación de que se trate.

Errores por puntos de apoyo: Especialmente en los instrumentos de gran longitud la manera como se apoya el instrumento provoca errores de lectura.

Errores por método de sujeción del instrumento: El método de sujeción del instrumento puede causar errores un indicador de carátula está sujeto a una distancia muy grande del soporte y al hacer la medición, la fuerza ejercida provoca una desviación del brazo.

Error por distorsión: Gran parte de la inexactitud que causa la distorsión de un instrumento puede evitarse manteniendo en mente el principio o la ley de Abbe: la máxima exactitud de medición es obtenida si el eje de medición es el mismo del eje del instrumento.

Error de paralaje: Este error ocurre debido a la posición incorrecta del operador con respecto a la escala graduada del instrumento de medición, la cual está en un plano

diferente El error de paralaje es más común de lo que se cree. Este defecto se corrige mirando perpendicularmente el plano de medición a partir del punto de lectura.

Error de posición: Este error lo provoca la colocación incorrecta de las caras de medición de los instrumentos, con respecto de las piezas por medir.

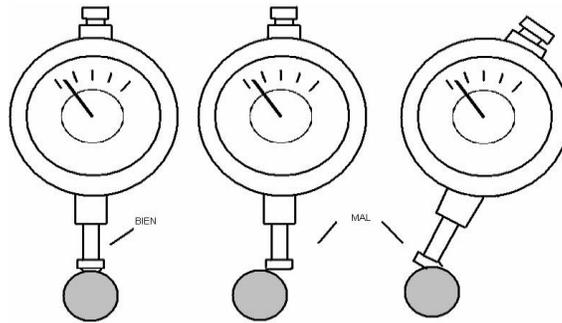


Fig. 2 Error de posición

Error por desgaste: Los instrumentos de medición, como cualquier otro objeto, son susceptibles de desgaste, natural o provocado por el mal uso.

Error por condiciones ambientales: Entre las causas de errores se encuentran las condiciones ambientales en que se hace la medición; entre las principales destacan la temperatura, la humedad, el polvo y las vibraciones o interferencias (ruido) electromagnéticas extrañas

1.7. Calibración y verificación de los instrumentos de medición

Error instrumental: Se determina mediante la calibración.

Calibración: Es la comparación de las lecturas proporcionadas por un instrumento o equipo de medición.

La calibración es una acción estrictamente vinculada con las características metrológicas del instrumento.

Permite asegurar la calidad de medición de este dentro de los márgenes de incertidumbre establecidos, por lo que, es considerada un procedimiento básico por la actividad de la metrología.

Verificación: Consiste en revisar, inspeccionar, ensayar, comprobar, supervisar; los procesos o servicios, que estén con los requisitos especificados.

La verificación ofrece la seguridad de cumplimiento con reglamentaciones y especificaciones establecidas como así también de una correcta medida en instrumentos de medición, especialmente en aquellos que requieren de verificación y aprobación de modelo.

La calibración de los instrumentos se puede ver alterada por muchas cosas, incluyendo inicialización inadecuada por configuración o instalación inapropiada, contaminación, daños físicos, o deriva en el tiempo. Algunas veces este cambio en la calibración provoca cambios en la calidad del producto o servicio.

Estos cambios en la calidad pueden ser advertidos mediante rutinas de calibración de los instrumentos, protegiendo así la repetibilidad de su proceso y su especificación garantizada.

La selección de su proveedor de servicios de calibración es tan importante como la calibración misma, un laboratorio de metrología confiable, debe contar con los siguientes requisitos:

Sistema de calidad basado en ISO/IEC 17025.

Patrones de referencia de alta exactitud, trazables a patrones nacionales.

Procedimientos de calibración basados en normas nacionales e internacionales.

Instalaciones con condiciones ambientales controladas.

Personal altamente acreditado y certificado en metrología e instrumentación.

Tiempo de respuesta óptimo a su solicitud de servicio.

2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN DE MAGNITUDES LINEALES Y ANGULARES

Un instrumento de medición es un aparato que se usa para comparar magnitudes físicas mediante un proceso de medición. Como unidades de medida se utilizan objetos y sucesos previamente establecidos como estándares o patrones y de la medición resulta un número que es la relación entre el objeto de estudio y la unidad de referencia. Los instrumentos de medición son el medio por el que se hace esta lógica conversión.

2.1. Instrumentos básicos (Regla, compás, linternas, cuenta hilos, patrones de radios)

Regla: La regla graduada es un instrumento de medición con forma de plancha delgada y rectangular que incluye una escala graduada dividida en unidades de longitud, por ejemplo, centímetros o pulgadas; es un instrumento útil para trazar segmentos rectilíneos con la ayuda de un bolígrafo o lápiz, y puede ser rígido, semirrígido o flexible, construido de madera, metal, material plástico, etc.

Paralaje: al dirigir la vista al objeto a medir debemos hacerlo de manera exactamente perpendicular a la regla.

De lo contrario, estaríamos introduciendo lo que se conoce como un error de paralaje, este ocurre debido a la posición incorrecta del operador con respecto a la escala graduada del instrumento de medición, la cual está en un plano diferente. Este error también se disminuye empleando reglas con el borde graduado biselado.

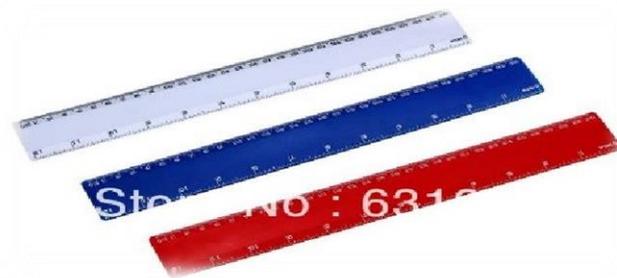


Fig. 3 Reglas graduadas en centímetros y pulgadas.

Compás: Un compás es un instrumento que nos sirve para dibujar y medir diámetros, puede ser interior o exterior. Un error de medición en un compás puede presentarse desde la marca o tipo de compás, hasta el tipo de punta en que termina, o bien se puede estimar también un error dependiendo la superficie donde se haga el trazo.

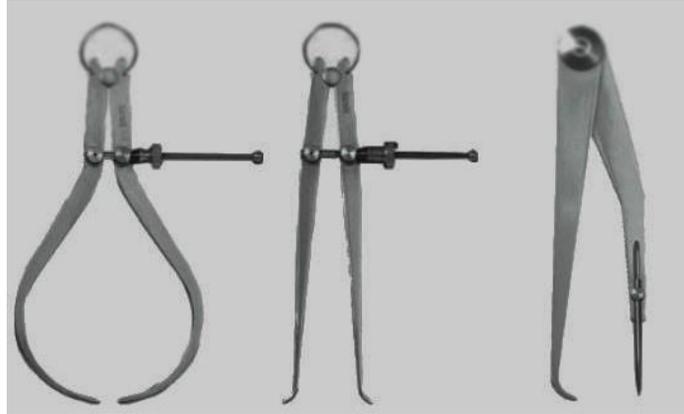


Fig. 4 Compás

Lainas: Consisten en una serie de láminas delgadas que tienen marcado el espesor y son utilizadas para medir pequeñas aberturas o ranuras.

Son lainas pequeñas de diferente calibre vienen en milésimas o en micras según sea el caso si utilizas el sistema inglés o el sistema métrico, cada hoja trae la graduación anotada por ejemplo si se va a medir 15 milésimas abres las hojas y ubicas la de 10 y también la de 5 se unen y juntas dan el total de 15 milésimas, es igual para calibrar bujías algunas termina en número no cerrado y ahí se tiene que utilizar de esa manera. Existen lainas de acero inoxidable y lainas perforadas. Los errores de medición en lainas suelen ser escasos, pero puede haber ligeras desviaciones dependiendo de la superficie que quiere ser medida.



Fig. 5 Lainas

Cuenta hilos: El cuenta hilos es una lupa especializada que fue ideada para verificar el número de hilos de la trama y de la urdimbre que entran en un pequeño cuadrado determinado de tejido (antiguamente de media pulgada de lado, actualmente de 20x20 mm).

En la actualidad también se utiliza en tareas que requieren distinguir detalles de pequeñas dimensiones: en tipografía, verificación de píxeles, fotografía, impresión, etc.



Fig. 6 Cuenta hilos

Patrones de radio: Consisten en una serie de láminas marcadas con los correspondientes radios cóncavos y convexos formados en diversas partes de la lámina. La inspección se realiza determinando que patrón se ajusta mejor al borde redondeado de una pieza.



Fig. 7 Patrones de radio

2.2. Calibrador de pie de rey, de carátula, electro-digitales, de profundidad

Calibrador de pie de rey: También denominado calibrador, cartabón de corredera, pie de rey o Vernier, es un instrumento utilizado para medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, desde centímetros hasta fracciones de milímetros (1/10 de milímetro, 1/20 de milímetro, 1/50 de milímetro).

En la escala de las pulgadas tiene divisiones equivalentes a 1/16 de pulgada, y, en su nonio, de 1/128 de pulgada. Es un instrumento sumamente delicado y debe manipularse con habilidad, cuidado, delicadeza, con precaución de no rayarlo ni doblarlo. Deben evitarse especialmente las limaduras, que pueden alojarse entre sus piezas y provocar daños.

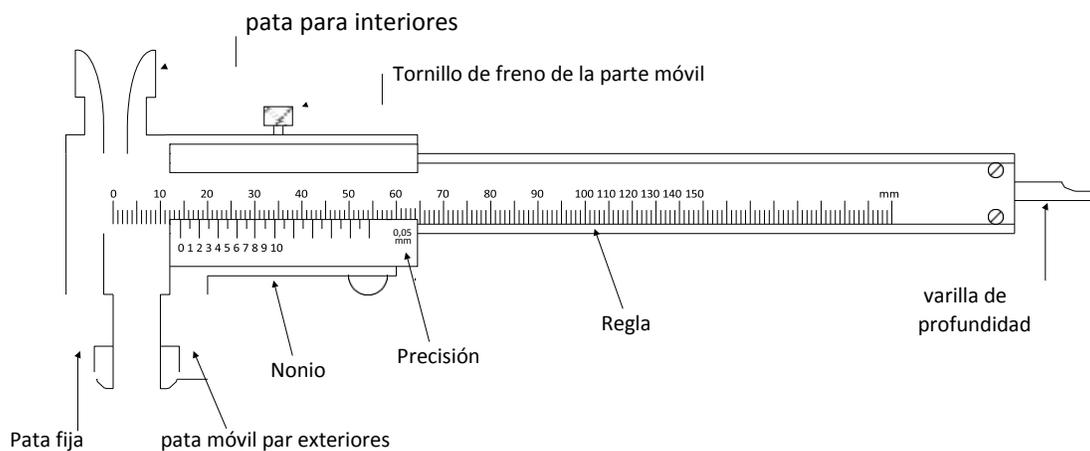


Fig. 8 Calibrador pie de rey o vernier

Vernier en fracciones de pulgada.

Vernier con lectura de: $1'' + 7/16 + 5/128 = 1'' \ 61/128$

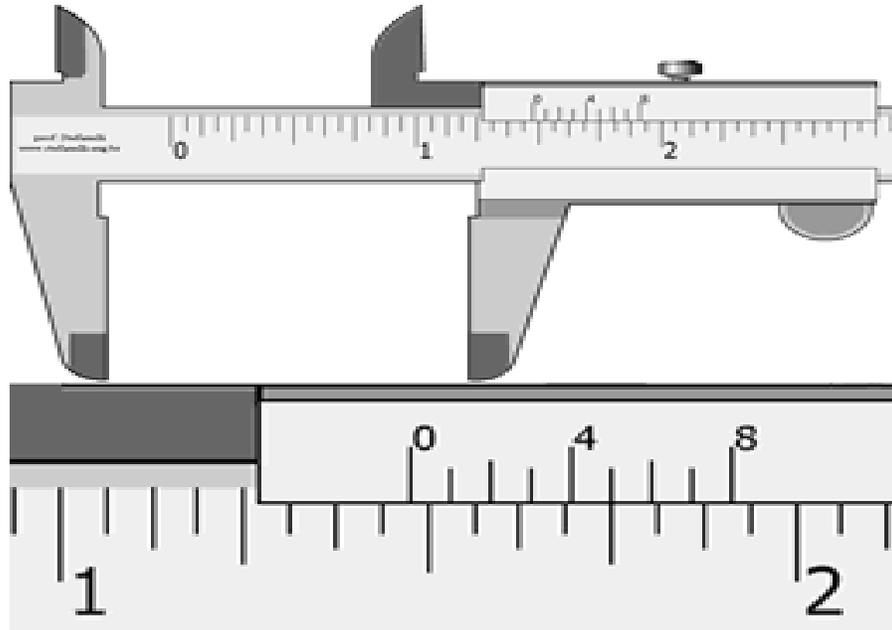


Fig. 9 Vernier con lectura de $1'' \ 61/128$

Vernier en milímetros

Vernier indicando 34 mm

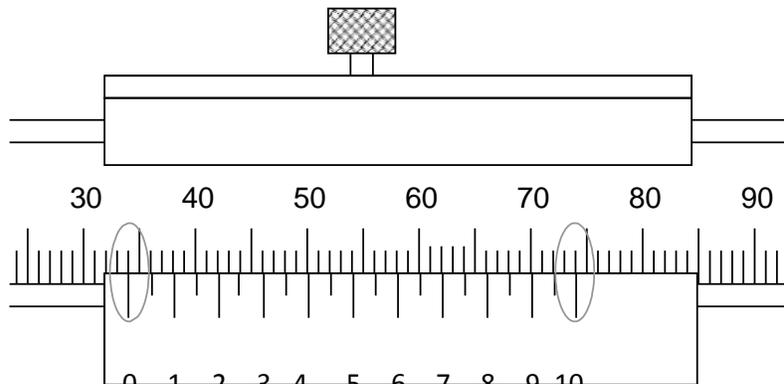


Fig. 10 Vernier con lecturas en milímetros

Calibrador de caratula: Son útiles para determinar descentramiento en ejes y rotores.

El descentramiento es la variación de movimiento de lado a lado cuando se hace girar un componente. Los calibradores de carátula normalmente tienen dos escalas separadas. La aguja puede moverse numerosas veces alrededor de la escala exterior. Una vuelta completa puede representar 0.1" o 1mm. La pequeña escala interior indica el número de veces que la aguja exterior se ha movido alrededor de su escala.

Los calibradores de carátula pueden medir con una precisión de 0.001" o 0.01mm. El tipo de calibrador de carátula que usted use está determinado por la cantidad de movimiento que usted piensa que tendrá el componente que usted está midiendo.

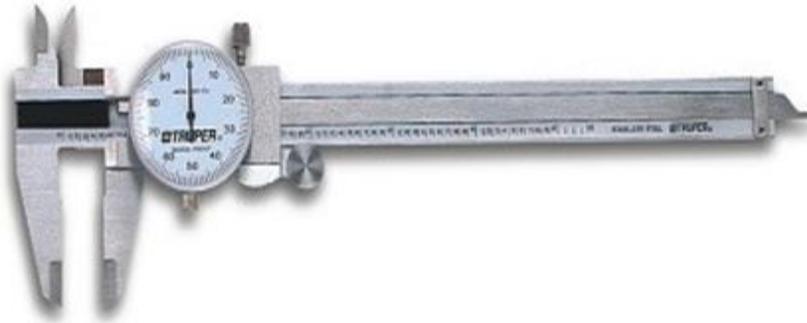


Fig. 11 Vernier con carátula

Calibradores electro digital. Estos calibradores pueden ser de dos tipos. Con un codificador rotatorio para detectar el desplazamiento y con detector de desplazamiento tipo capacitancia y cuenta con una sola columna de sección rectangular.

Las mediciones hechas con calibradores que miden diámetros interiores con las puntas de medición correspondientes involucran errores inherentes al diseño de las puntas. Estos errores son más significativos cuando se miden diámetros pequeños.



Fig. 12 Calibrador electro-digital

Calibrador de profundidad: Este calibrador de profundidades y ángulos cuenta con una regla graduada en mm y pulgadas. Tiene un tornillo ajustable para dar tensión al momento de estar tomando medidas, además cuenta con graduaciones en grados para medir distintos ángulos.

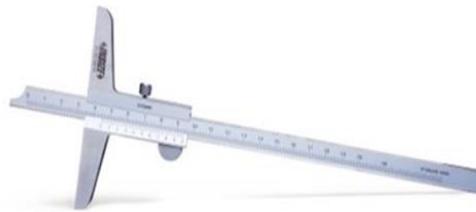


Fig. 13 Calibrador de profundidad

2.3. Micrómetros (de interiores, de profundidad, digitales)

El micrómetro también llamado tornillo de Palmer, es un instrumento de medición cuyo funcionamiento está basado en el tornillo micrométrico y que sirve para medir las dimensiones de un objeto con alta precisión, del orden de centésimas de milímetros (0,01 mm) y de milésimas de milímetros (0,001mm).

Para ello cuenta con 2 puntas que se aproximan entre sí mediante un tornillo de rosca fina, el cual tiene grabado en su contorno una escala.

La escala puede incluir un nonio. La máxima longitud de medida del micrómetro de exteriores es de 25 mm, por lo que es necesario disponer extensiones de micrómetro para cada campo de medidas que se quieran tomar (0-25 mm), (25-50 mm), (50-75 mm), etc.

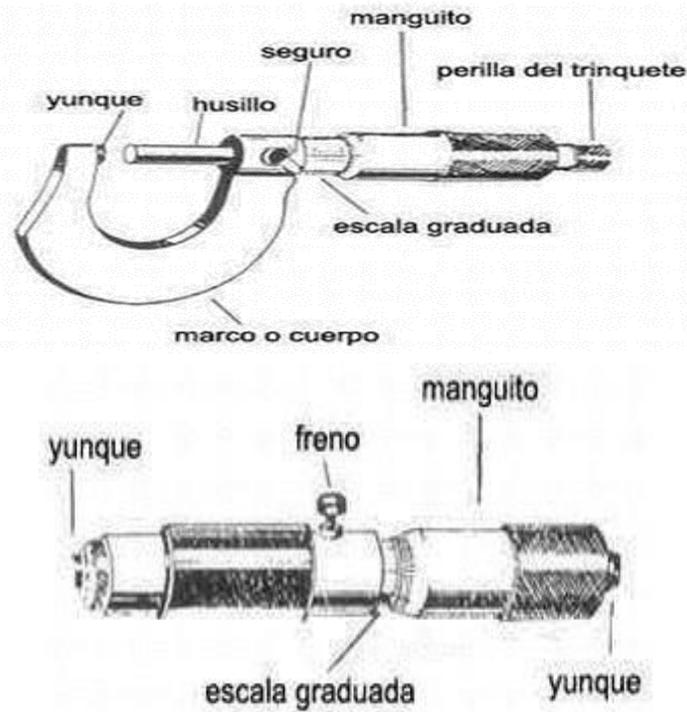


Fig. 14 Micrómetros de exteriores e interiores

En el ejemplo siguiente puede comprobarse cómo la alineación del 0 del manguito con la línea de la regla delata una medida exacta de 16,50 mm. La parte superior de la regla indica una medida entera de 16 mm, mientras que la parte inferior incrementa en 0,5 mm esta última medida.

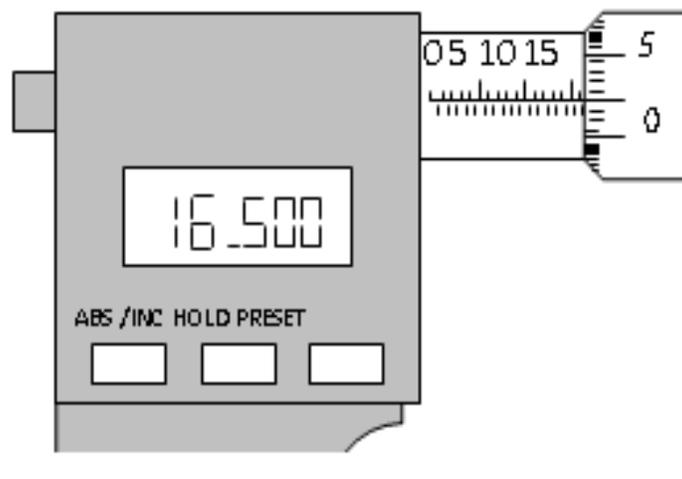


Fig. 15 Micrómetro con lectura de 16.5 mm.

2.4. Instrumentos de comparación.

Los instrumentos utilizados para comparar se llaman comparadores y, estos, sirven para la verificación del paralelismo de dos caras, comprobar la redondez y concentricidad de ejes y agujeros o la colocación de las piezas en las máquinas y herramientas, medir y clasificar piezas, etc.

Reloj capaz de captar variaciones de medidas. No da directamente la medida de una magnitud, sino la comparación con otra conocida. Esta captación es posible gracias a un mecanismo de engranajes o palancas: el mecanismo va encerrado en una caja de acero o aluminio de forma circular atravesado por un eje que termina en una bola de acero templado y se desliza sobre unos cojinetes o guías.

Este eje es el que se pone en contacto con la pieza a verificar, por lo que es muy sensible, transmitiendo la captación a unos engranajes que mueven la aguja que marca la unidad en una silueta parecida a la del reloj, pero dividida en 100 partes iguales equivalen a 0,01mm. La esfera del reloj es giratoria, para ajustar el cero a la posición más conveniente.

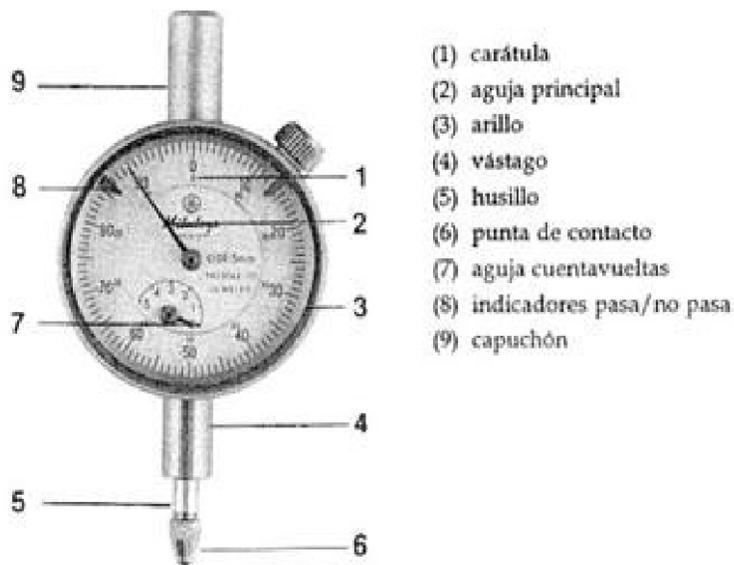


Fig. 16 Reloj comparador básico

Comparador de alturas con reloj. Es un reloj comparador que se usa con un soporte que capta la variación de altura con bastante precisión, por pequeña que sea. Se emplea para comparar, por ejemplo, el defecto de altura en la fabricación de dos piezas del mismo tipo.



Fig. 17 Comparador de alturas con reloj.

Comparador de diámetro. Los comparadores de diámetros no son, ni más ni menos, que un reloj comparador acoplado a un soporte diseñado para medir diámetros internos o externos.



Fig. 18 Comparador de diámetro

2.5. Instrumentos para medición angular (escuadra universal, goniómetro, regla de senos)

Escuadra universal. Es un goniómetro que tiene muchas aplicaciones no solo para medir sino también para transportar ángulos y en trazados. Con él pueden comprobarse directamente ángulos de 45° y 90° y hallar los centros de perfiles redondos. Lleva incorporado un nivel que puede emplearse para la medida de la pendiente de planos inclinados.



Fig. 19 Escuadra universal

Goniómetro. El goniómetro o transportador universal es un instrumento de medición que se utiliza para medir ángulos. Consta de un círculo graduado de 180° o 360° , el cual lleva incorporado un dial giratorio sobre su eje de simetría, para poder medir cualquier valor angular. El dial giratorio lleva incorporado un nonio para medidas de precisión.



Fig.20 Goniómetro

Regla de senos. Dispositivo extensamente utilizado para la formación de patrones de ángulos. Su amplio empleo se debe a su facilidad de manejo, precisión de las operaciones de comprobación con ella efectuadas y sencillez de realización.



Fig. 21 Regla de senos

3. MEDICIÓN, VERIFICACIÓN Y TOLERANCIA DE ROSCAS Y ENGRANES

3.1. Roscas

Rosca. Es una cuerda con un perfil determinado colocada helicoidalmente alrededor de un cilindro con desplazamiento uniforme. Es un filo helicoidal de sección uniforme formado en el interior o exterior de un cilindro o cono.

Nomenclatura

De acuerdo con la ilustración nótese que las letras mayúsculas se utilizan para designar las roscas internas (tuercas) y las minúsculas para designar roscas externas (tornillos).

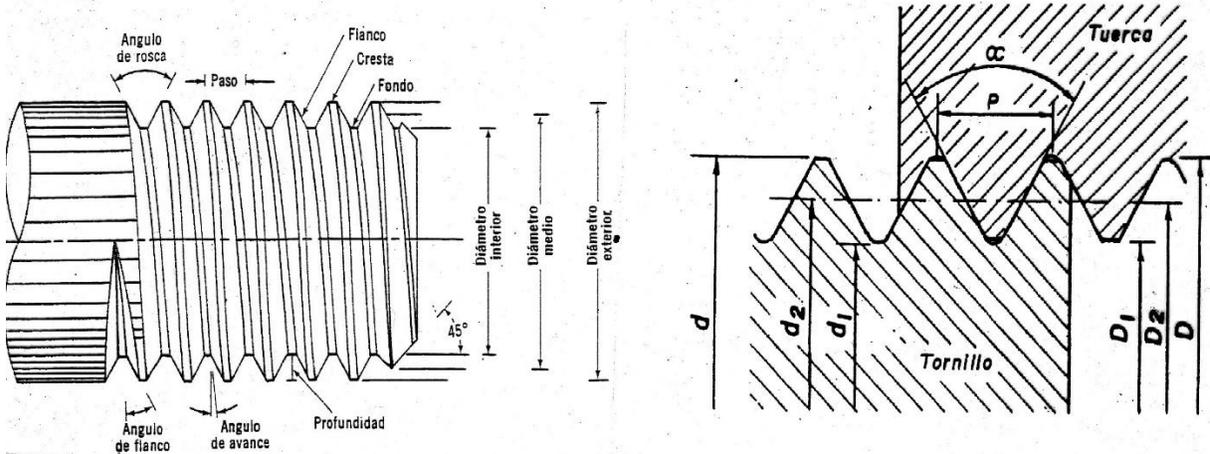


Fig. 22 Tornillos

D_1 d_1 Diámetro en el fondo de la rosca o diámetro interior (núcleos)

D_2 d_2 Diámetro en los flancos o diámetro medio o primitivo

D d Diámetro (exterior o nominal) de identificación en el mercado.

P p Paso, distancia entre dos puntos de la hélice media; medida en la dirección del eje del tornillo.

α - - - Angulo de los flancos

3.1.1. Forma geométrica de sistemas de Roscas.

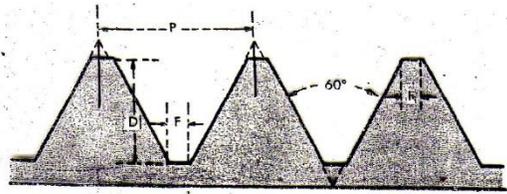


Fig. 10-53a. Rosca American National.

profundidad = $0,6495 \times \text{paso}$
 anchura del plano F = $0,125 \times \text{paso}$
 ángulo = 60° en el plano del eje

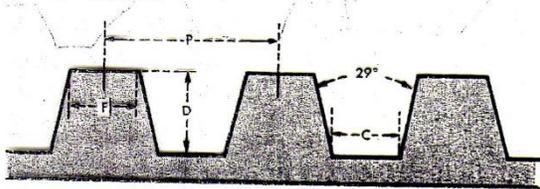


Fig. 10-53b. Rosca American National Acme.

profundidad mínima D = $0,5 \times \text{paso}$
 profundidad máxima D = $0,5 \times \text{paso} + 0,010''$
 ancho F = $0,3707 \times \text{paso}$
 ancho C = ancho F \times profundidad mínima
 ancho C = ancho F + 0,0052 pulgada \times profundidad máxima
 ángulo = 29° en el plano del eje

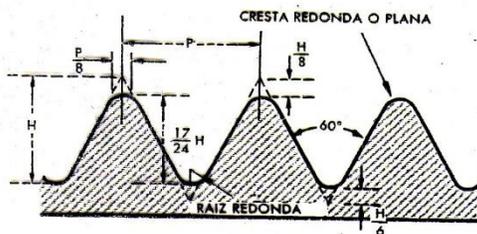
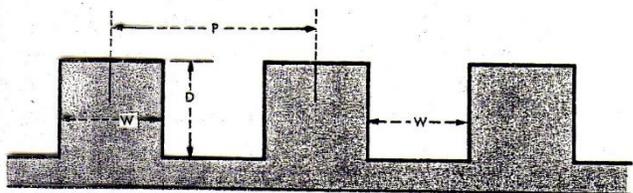


Fig. 10-53c. Rosca unificada.

H (altura del filete V) = $0,86603 \times \text{paso}$
 filete externo - profundidad = $0,61343 \times \text{paso}$
 cresta = $\frac{P}{4}$
 raíz = $\frac{P}{8}$
 filete interno - profundidad = $0,54127 \times \text{paso}$
 cresta = $\frac{P}{8}$



1. Rosca cuadrada.

profundidad D = $0,5 \times \text{paso}$
 ancho W del tornillo = $0,5 \times \text{paso}$
 ancho de la ranura de la rosca en la tuerca = $0,5 \times \text{paso} + 0,001$ a $0,002$ pulgadas de holgura

Fig. 23 Tipos de roscas

- Rosca Americana nacional
- Rosca Americana Nacional ACME como de tipo de transmisión de fuerza.
- Rosca unificada de tornillos, es el resultado de la necesidad de usar un sistema común en diferentes países. Se usa en las fuerzas armadas de países de habla inglesa y la Americana Nacional estándar

- Rosca cuadrada, se usa para transmisión máxima de fuerza. Debido a su forma, el rozamiento entre los hilos de contacto se reduce al mínimo.

Errores en las roscas y sus consecuencias. En un conjunto roscado correctamente después de efectuado el apriete, el contacto debe ser perfecto sobre toda la extensión de un flanco y sobre toda la longitud roscada, mientras que el juego debe encontrarse íntegramente sobre el otro flanco, como se muestra en la figura 24.

La figura 25 aunque la unión presenta más juego, tiene sin embargo las mismas características de contacto y de resistencia.

La figura 26, se muestra un error en el paso del tornillo, esto hace que la superficie de contacto, después del apriete, se reduzca a una zona estrecha situada sobre un lado del perfil generador en el primer filete.

La figura 27 muestra un error del ángulo de simetría, se observa que el contacto se limita a un cordón helicoidal, situado en el vértice o en la base de los filetes, según el sentido del error.

La figura 28 muestra los errores indicados en las figuras 26 y 27, la zona de contacto puede reducirse y un arco de hélice, limitado a una parte del primer filete.

Durante el funcionamiento y bajo la influencia del esfuerzo de apriete y la vibración, las uniones roscadas defectuosas se aplastarán en las zonas de contacto y se aflojarán.

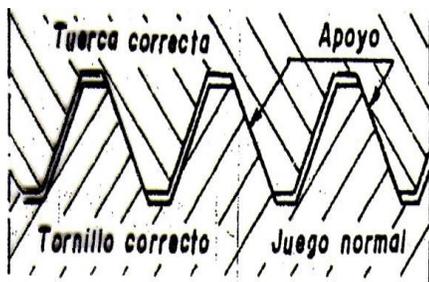


Fig. 24 Tornillo

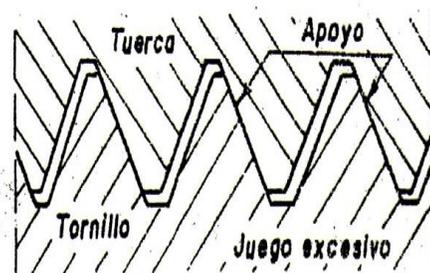


Fig. 25 Tornillo



Fig. 26 Tornillo



Fig. 27 Tornillo



Fig. 28 Tornillo

Una rosca puede tener error en:

Diámetro exterior

Diámetro medio o de los flancos

Diámetro del núcleo o de fondo

Paso

Angulo de los flancos o del perfil

Fondo del filete

Medición y verificación de roscas

La medición se trata de la determinación numérica de dimensiones mediante la verificación.

En una rosca hay que tener en cuenta cinco magnitudes determinantes, que son las mencionadas en los errores principales que puede tener una rosca.

La medición de roscas es difícil porque las magnitudes a determinar dependen unas de otras y la precisión estará subordinada a la de los aparatos y al método empleado.

La comprobación de los perfiles roscados es muy laboriosa y desde el punto de vista de la fabricación, nada rentable, requiriéndose el empleo de aparatos especiales y operarios expertos dado que entran en función una serie de elementos complejos y relacionados entre sí (diámetros, paso, ángulos, etc.)

Diámetro exterior. Es el diámetro máximo de una rosca y el que define su dimensión nominal (uso comercial).

Puede medirse o verificarse con instrumentos de medición lineal, pudiendo ser un pie de rey o calibrador vernier, micrómetros, calibres de tolerancias.

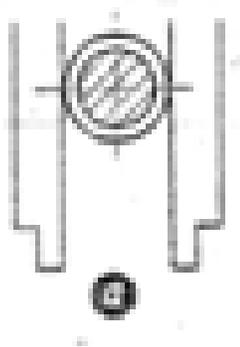


Fig. 29 Diámetro exterior

Diámetro de fondo, del núcleo o interior. Es el diámetro menor de una rosca, define el núcleo sólido que soporta los esfuerzos a que se somete un tornillo. Su medición si se realiza mediante un calibrador vernier, con las puntas de medición se obtiene una medida errónea porque las gargantas opuestas de los surcos están desplazadas una respecto a otra en el valor de la mitad del paso, por lo tanto, se tendrá que realizar la corrección.

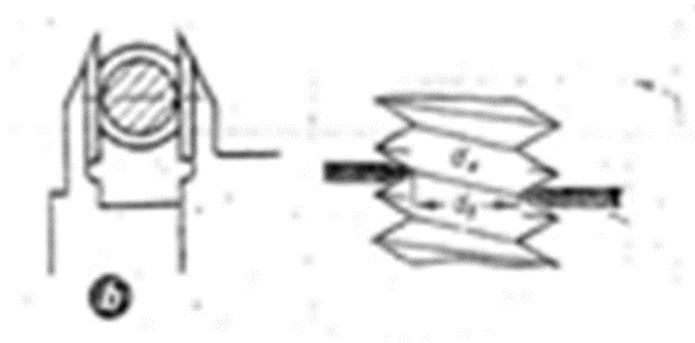


Fig. 30 Diámetro de fondo, del núcleo o interior

El diámetro de los flancos. Puede medirse con un micrómetro para roscas exteriores e interiores. El instrumento más usado es el calibre para roscas provisto de dos cuerpos de medida configurados en forma de cono y de muesca. La muesca y el cono son recambiables y tienen para cada paso de rosca una magnitud diferente.

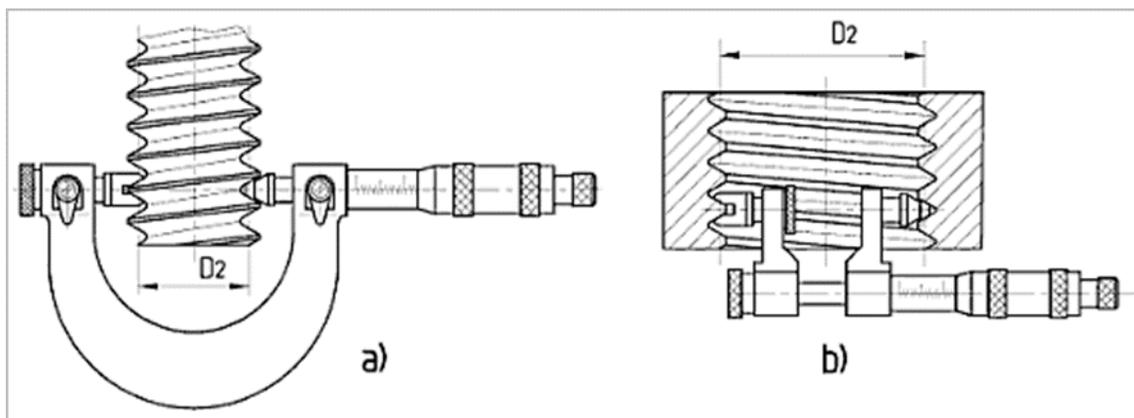


Fig. 31 Diámetro de los flancos.

En la figura 31 a) Medición del diámetro de los flancos de una rosca exterior de perfil triangular. Y en la figura 31 B) Medición de una tuerca de perfil triangular con el micrómetro de interiores.

El calibre de medición rápida para roscas interiores es un calibre macho para roscas, aplanado por dos lados opuestos y ranurado en el centro. En la ranura va guiada elásticamente una mordaza de medición que transmite su movimiento a un reloj indicador. Con un palpador es oprimida radialmente hacia dentro de la mordaza móvil de modo que el macho de medición pueda empujarse dentro de la rosca. Después de soltar el palpador, las mordazas de medición se hallan en contacto con los flancos de la rosca.

El aparato se ajusta de acuerdo con un anillo-calibre de roscas. Se pueden entonces leer en el reloj de medición no solamente si la rosca está dentro de los previstos campos de tolerancia, sino también en que cantidad ha de profundizar todavía el útil de torno si se trata, por ejemplo, del torneado de una rosca. Las mordazas de medición tienen que cambiarse y ajustarse de nuevo para cada diámetro de rosca y para cada paso nuevo.

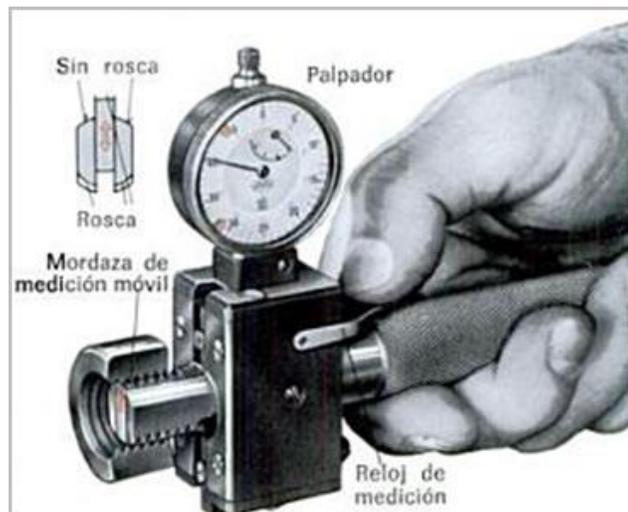


Fig. 32 Reloj de medición para roscas interiores.

3.1.2. Control de paso y de perfil de la rosca

Paso. Es la distancia media paralelamente al eje que existe entre dos filetes o crestas consecutivas. El paso de una rosca

En el sistema inglés es igual: $\text{Paso} = 1 / \text{Núm. De hilos por pulgada}$

En el sistema métrico: $\text{Paso} = 1 / \text{Núm. De hilos / unidad de longitud}$

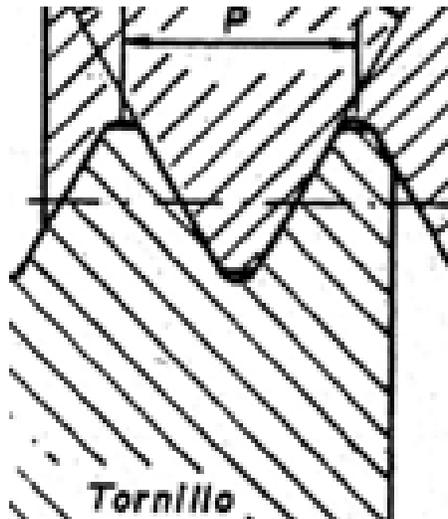


Fig. 33 Paso de una rosca

Medición del paso

El Paso puede determinarse contando los hilos de la rosca.

En una rosca métrica se mide la longitud ocupada por varios hilos de rosca con las puntas de pie de rey. Para obtener el paso se divide la distancia medida por el número de hilos o filetes.

Ejemplo: La longitud ocupada por 10 filetes de rosca es de 30 mm. El paso será $30 \text{ mm} : 10 = 3 \text{ mm}$.

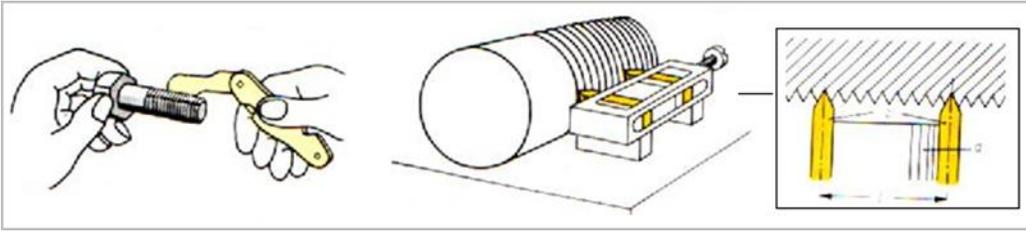


Fig. 34 Medición de paso

A la izquierda. Verificación del paso con una galga de roscas. A la derecha, medición del paso por medio de calibre de caras paralelas.

En las roscas Whitworth, se encuentra en número de hilos por pulgada, ajustando el calibre a la abertura de 1" y contando los filetes comprendidos entre las puntas de aquél.

Más sencillo resulta el empleo de galgas de roscas que suelen ir reunidas en un haz como las varillas de un abanico.

La galga para roscas se aplica a la rosca que se trata de comprobar, Por el procedimiento de la rendija de luz pueden apreciarse fácilmente las discrepancias en el paso. A esta comprobación puede ir simultáneamente unida la del perfil. Por ejemplo, en cuanto a ángulo de los flancos, redondeamiento, etc.

Para mediciones exactas del paso se emplean frecuentemente calibres normales de caras paralelas limitadas por picos que ajustan en los surcos de la rosca.

O bien para hacer la medición exacta se hace uso de un microscopio de taller o de la proyección de sombras (proyector de perfiles).

Verificación de roscas por medio de calibres

Cuando se mecanizan en cantidad piezas roscadas es antieconómico ir midiendo cada una de las magnitudes y en algunos casos resultaría más cara la medición que la fabricación de la misma pieza. En lugar de ello lo que se hace es emplear calibres que nos proporcionan una verificación simultánea de todas las magnitudes de la rosca.

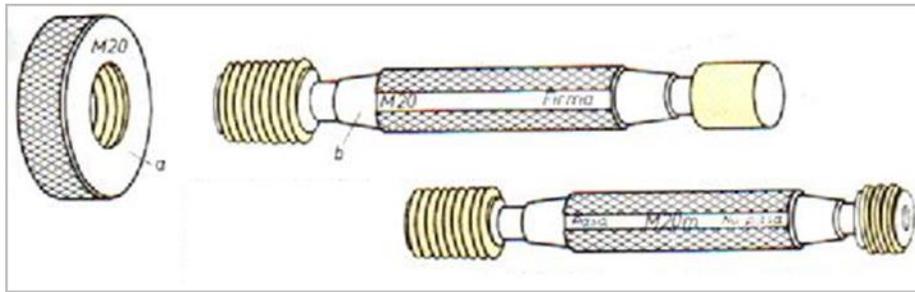


Fig. 35 Verificación de roscas por medio de calibres.

Calibres normales para roscas a) calibre normal de anillo para roscas, b) calibre normal macho para roscas. (Derecha) Calibre macho de tolerancia para roscas.

3.1.3. Tolerancias y posiciones normalizadas

Ajustes para roscas

La Comisión Americana de roscas a establecido cuatro clases de ajustes para roscas:

- Clase 1, tipo holgado. Recomendado como un estándar comercial, para agujeros roscados ciegos. Puede ser usado como roscas de otras clases.
- Clase 2, tipo libre. Incluye la gran cantidad de roscas de calidad ordinaria para tornillos y tuercas acabadas y semiacabadas.
- Clase 3, tipo medio. Incluye el mejor grado de trabajo de tornillo roscado intercambiable tales como tornillos y tuercas de automóviles.
- Clase 4, tipo apretado. Incluye el trabajo de tornillos roscados que requieren un ajuste fino, algo más cerrado que el ajuste medio. Tales como partes de avión de alto grado de calidad. En esta clase de ajuste, en muchos casos es necesario el ensamble selectivo de las partes, no se considera práctica como un estándar y para juegos ciegos.
- Clase 5, muy apretado. No aconsejable

Roscas a derecha o izquierda.

Una rosca es a derecha cuando haciéndola girar en el sentido de las agujas del reloj penetra, y a izquierda, cuando penetra haciéndola girar en el sentido contrario a las agujas del reloj.

La estructura del sistema de tolerancias ISO está basada en la posición de la zona de para establecer unos criterios que permitan conjugar las condiciones funcionales con los errores de los procesos de fabricación, manteniendo la intercambiabilidad, es para lo que se han desarrollado los sistemas de tolerancias. En la actualidad el más ampliamente aceptado es el normalizado por ISO

Las magnitudes de las tolerancias se hacen depender para un mismo grupo de medidas nominales de una escala con 18 escalones denominada calidad IT y designada por los números 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16. Los valores de las tolerancias IT son función de la magnitud de los diámetros

De esta forma la designación de una tolerancia se realiza con letras y números, corresponden las primeras a la posición de la tolerancia y su magnitud por las cifras IT, ejemplo 40 H7 con límites correspondientes a 40,000 y 40,025.

El sistema ISO de tolerancias de roscas, tiene una analogía con el de tolerancias dimensionales definiendo posiciones de la tolerancia y amplitud de estas.

Las posiciones contempladas son las e, g y h para tornillo y las G y H para tuercas y la calidad de la 4 a la 9. Estas calidades tienen en cuenta la medida de los diámetros, la calidad de elaboración y la longitud de acoplamiento.

Clase de tolerancias recomendadas para Tornillos y tuercas. Se establecen para controlar la cantidad de tolerancia y error permitido en la fabricación las roscas manteniendo la intercambiabilidad.

Se definen seis clases de ajustes de roscas, tres para exteriores 1A, 2A y 3A y tres para interiores 1B, 2B y 3B

Las tolerancias más estrechas se corresponden con las clases más altas

Las clases 1A y 1B, se utilizan cuando se requiere un ajuste muy holgado para fácil montaje aun con roscas sucias o recubrimientos muy gruesos.

Las clases 2A y 2B, se utilizan son las de utilización más frecuente, proporcionan mayor resistencia que las anteriores permitiendo la aplicación de recubrimientos resistentes a l corrosión

Las clases 3A y 3B, se utilizan en aplicaciones específicas en las que es importante el aprieto y la precisión del ángulo, no permiten la aplicación de

recubrimientos. Son adecuadas para la utilización de productos anaeróbicos para fijaciones permanentes y tuercas elásticas

Tipos de roscas

Rosca métrica o rosca europea: rosca de perfil triangular, a 60° . Se trata del sistema métrico, aceptado internacionalmente. El paso o distancia entre dos hilos o filetes consecutivos se expresa en milímetros. De manera deliberada, en el dibujo adjunto se han separado exageradamente tornillo y tuerca para una mejor apreciación del perfil.

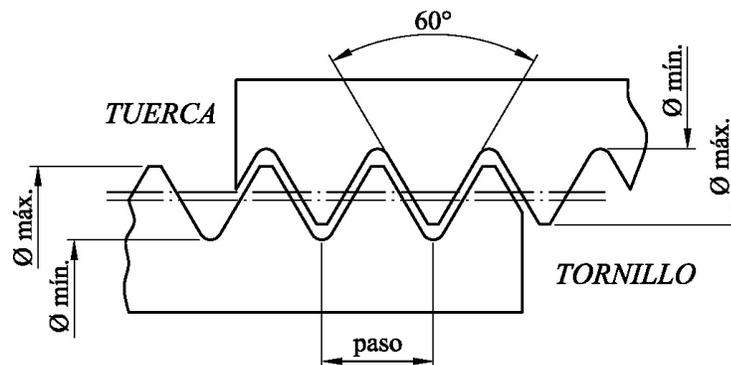


Fig. 36 Rosca métrica

Rosca Sellers (rosca americana) o rosca SAE: rosca de perfil triangular, a 60° y con el diámetro nominal expresado en pulgadas. En lugar de expresar el paso directamente en milímetros, se indica el número de hilos que entran por pulgada (1 pulgada = 25.4 mm). Se clasifican como roscas Sellers bastas (NC), roscas Sellers especiales (NS) y roscas Sellers finas (NF o SAE, de amplia utilización en automoción).

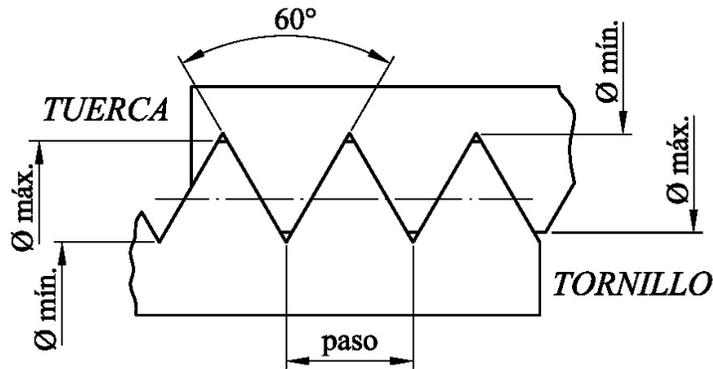


Fig. 37 Rosca Sellers o rosca americana.

Rosca Whitworth (rosca inglesa): rosca de perfil triangular, a 55° y con el diámetro nominal expresado en pulgadas. También puede indicarse el número de hilos que entren en una pulgada (1 pulgada = 25.4 mm). De amplio uso con anterioridad, va siendo sustituida por la rosca métrica.

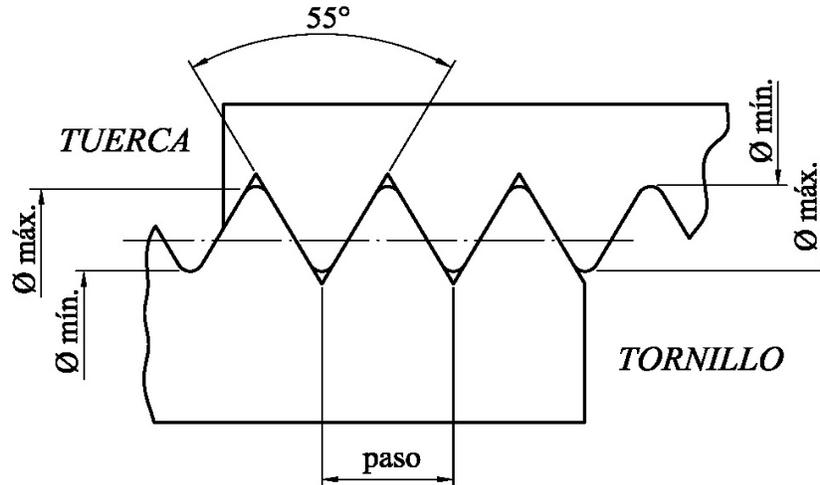


Figura 38 Rosca Whitworth o rosca inglesa.

Rosca gas y rosca Whitworth fina: rosca de perfil triangular para tuberías a 55°; puede mecanizarse como rosca cónica exterior, garantizando así en el apriete final la estanqueidad necesaria. Tradicionalmente se ha considerado este tipo de rosca como el estándar en conducciones de fluidos (aplicaciones

neumáticas e hidráulicas).

Rosca redonda: de perfil semicircular, este tipo de rosca posee unas excelentes propiedades mecánicas, pero en cambio su mecanización resulta especialmente costosa. Utilizada en órganos de tracción ferroviarios, así como para casquillos de bombilla (rosca tipo “Edison”).

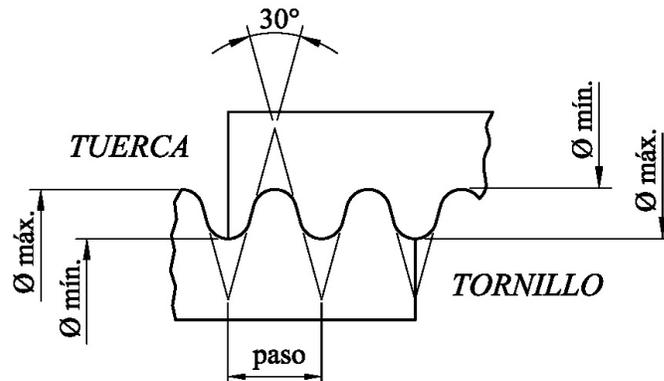


Figura 39 Rosca redonda.

Rosca trapezoidal: rosca de perfil trapezoidal, con un campo de aplicación centrado en la transmisión de movimientos; podemos encontrar la rosca ISO (a 30°) y la rosca ACME (a 29°). Uno de los ejemplos más típicos de aplicación que puede encontrarse para este tipo de rosca es el husillo de desplazamiento del carro de un torno.

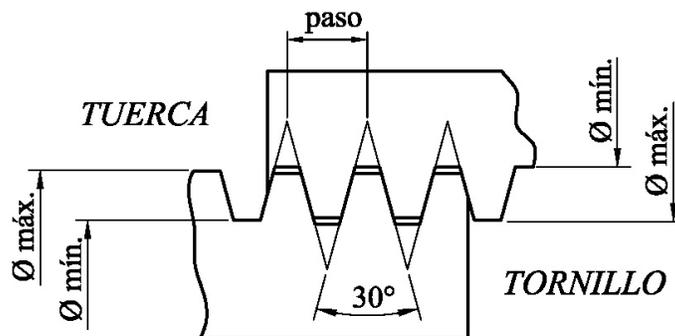


Figura 40 Rosca trapezoidal.

Rosca de diente de sierra: por ejemplo, rosca tipo Buttress. Utilizada en casos con empujes axiales considerables y en un único sentido.

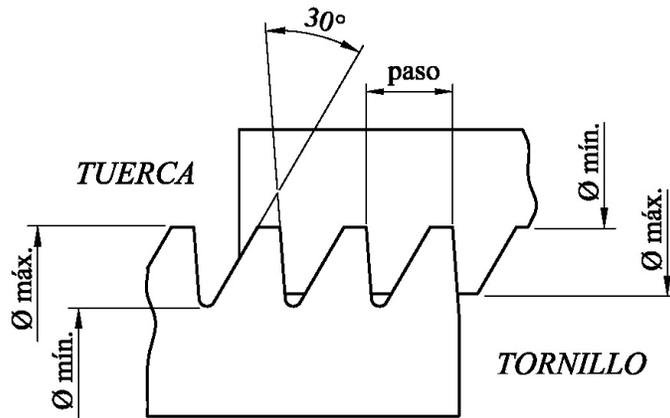


Figura 41 Rosca de dientes de sierra.

Además, existen tipos de roscas específicos para aplicaciones concretas. Algunas son bastante conocidas, como por ejemplo los perfiles de roscas para bombillas (rosca tipo Edison), para tubos de manillares de bicicletas, para microscopios y un largo etcétera.

Aplicaciones de las roscas

Rosca en V Aguda: Se aplica en donde es importante la sujeción por fricción o el ajuste, como en instrumento de precisión, aunque su utilización actualmente es rara.

Rosca Redondeada: Se utiliza en tapones para botellas y bombillos, donde no se requiere mucha fuerza, es bastante adecuada cuando las roscas han de ser moldeadas o laminadas en chapa metálica.

Rosca acme de Filete Truncado: La rosca Acme de filete truncado es resistente y adecuada para las aplicaciones de transmisión de fuerza en que las limitaciones de espacio la hacen conveniente.

Rosca Whitworth: Utilizada en Gran Bretaña para uso general es equivalente a la rosca Nacional Americana.

Rosca Trapezoidal: Este tipo de rosca se utiliza para dirigir la fuerza en una dirección. Se emplea en gatos y cerrojos de cañones. La designación de las roscas se hace por medio de su letra representativa e indicando la dimensión del diámetro exterior y el paso. Este último se indica directamente en milímetros para la rosca métrica, mientras que en la rosca unificada y Whitworth se indica a través la cantidad de hilos existentes dentro de una pulgada.

Por ejemplo, la rosca M 3,5 x 0,6 indica una rosca métrica normal de 3,5 mm de diámetro exterior con un paso de 0,6 mm. La rosca W 3/4 "- 10 equivale a una rosca Whitworth de 3/4 pulgada de diámetro exterior y 10 hilos por pulgada.

En cuanto a la designación de una rosca, por regla general suele indicarse el diámetro nominal de la rosca precedido de algún carácter (una o dos letras) que define el tipo de rosca. Les sigue el carácter "x" ("por") y la indicación del paso de la rosca.

Ejemplo en el que debe definirse una rosca de métrica 8 y paso de unos 1,25 milímetros: M8 x 1.25

Donde:

- M Indicación de rosca métrica
- 8 Diámetro de 8 milímetros (diámetro nominal de la rosca)
- 1.25 Paso de 1.25 milímetros

Veamos un segundo ejemplo donde debe definirse una rosca tipo gas de 1,5 pulgadas de diámetro:

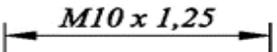
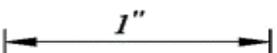
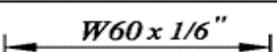
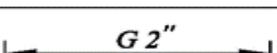
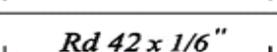
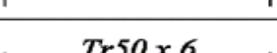
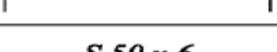
G1 ½

Donde:

- G1 Indicación de rosca gas
- ½ Diámetro de 1,5 pulgadas (del tubo, no de la rosca).

La tabla 3 entrega información para reconocer el tipo de rosca a través de su letra característica, se listan la mayoría de las roscas más usuales.

Tabla 3 Roscas más usuales

Tipo de rosca	Símbolo	Modo de acotación	Norma DIN
Métrica	M		13 h 1
Métrica fina	M		516 a 521 244 a 247
Whitworth	W		11
Whitworth fina	W		239 240
Whitworth gas	R (cilíndrica) G (cónica)		259
Redonda	Rd		405
Trapezoidal	Tr		103 378 389
Diente sierra	S		513 a 515
Sellers fina Sellers basta Sellers especial	NF (UNF) NC (UNC) NS		

Es posible crear una rosca con dimensiones no estándares, pero siempre es recomendable usar roscas normalizadas para adquirirlas en ferreterías y facilitar la ubicación de los repuestos.

La fabricación y el mecanizado de piezas especiales aumenta el costo de cualquier diseño, por lo tanto, se recomienda el uso de las piezas que están en plaza.

Se han destacado solamente las roscas métricas, unificadas y Whitworth por ser más utilizadas, pero existen muchas roscas importantes para usos especiales. Le entregan a continuación las tablas detalladas de estas tres familias de roscas para las series fina y basta.

3.2. Engranés

Se denomina engranaje o ruedas dentadas al mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales el mayor se denomina corona y el menor piñón.

Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante contacto de ruedas dentadas. Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión del movimiento desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro eje situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo.

La principal clasificación de los engranajes se efectúa según la disposición de sus ejes de rotación y según los tipos de dentado.

Ejes paralelos

Cilindros de dientes rectos

Cilindros de dientes helicoidales

Dobles helicoidales

Mecanismo piñón cadena

Polea dentada

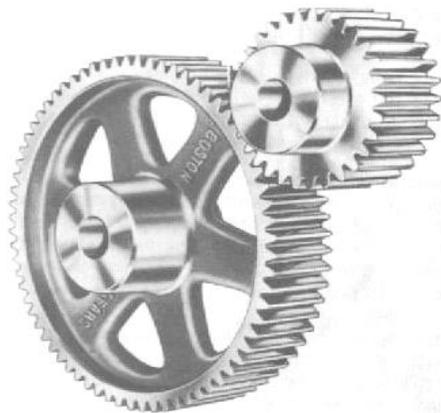


Fig. 42 Engranés con ejes paralelos

Con ejes perpendiculares:

Helicoidales cruzados

Cónicos de dientes rectos

Cónicos de dientes helicoidales

Cónicos hipoides

De rueda y tornillo sinfín

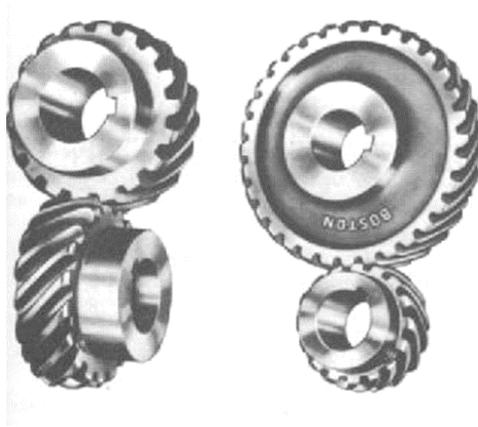


Fig. 43 Engranés con ejes perpendiculares

Por aplicaciones especiales

Planetario

Interiores

De cremallera

Por la forma de transmitir el movimiento

Transmisión simple

Transmisión con engranaje loco

Tren de engranes

Partes principales de un engrane.

- El espesor del diente, medido en el círculo de paso por la longitud de cuerda que subtiende el arco del círculo de paso.
- El paso circular es la distancia de un punto en un diente al punto correspondiente en el diente siguiente, medido sobre el círculo de paso.
- La altura de la cabeza o adéndum es la distancia radial entre el círculo de paso y el diámetro exterior, o la altura del diente por encima del círculo de paso.
- La raíz o dedéndum es la distancia radial desde el círculo de paso y el fondo del espacio del diente. El dedéndum es igual al adéndum más el claro.
- El paso diametral (engranes en pulgadas) es la relación del número de dientes por cada pulgada de diámetro de paso del engrane
- La involuta o envolvente es la línea curva producida por un punto de un cordel estirado cuando es desenrollado de un cilindro dado.
- Modulo (engranes métricos) es el diámetro de paso de un engrane dividido por el número de dientes, se trata de una dimensión real, a diferencia del paso diametral, que es una relación del número de dientes al diámetro del paso.
- El diámetro exterior es el diámetro general del engrane que es el círculo de paso más dos adéndums.
- Círculo de paso es un círculo que tiene el radio de la mitad del diámetro de paso con su centro en el eje del engrane.
- Circunferencia de paso es la circunferencia del círculo de paso.
- Diámetro de paso es el diámetro del círculo de paso que es igual al diámetro exterior menos dos adéndums.
- Angulo de presión es el ángulo formado por una línea a través de contacto con dos dientes en contacto o acoplados y tangente a los dos círculos de base y una línea a ángulos rectos con una línea central de los engranes.
- Círculo de raíz es el círculo formado por los fondos de los espacios de los dientes.
- Diámetro de raíz es el diámetro del círculo de raíz.
- Profundidad total es la profundidad completa del diente o la distancia igual al adéndum más el dedéndum.

- Profundidad de trabajo es la distancia que se extiende el diente de un engrane dentro del espacio de un diente del engrane acoplado, que es igual a dos adéndums.
- El espesor circular es el espesor del diente, medido sobre el círculo de paso: también conocido como espesor de arco.

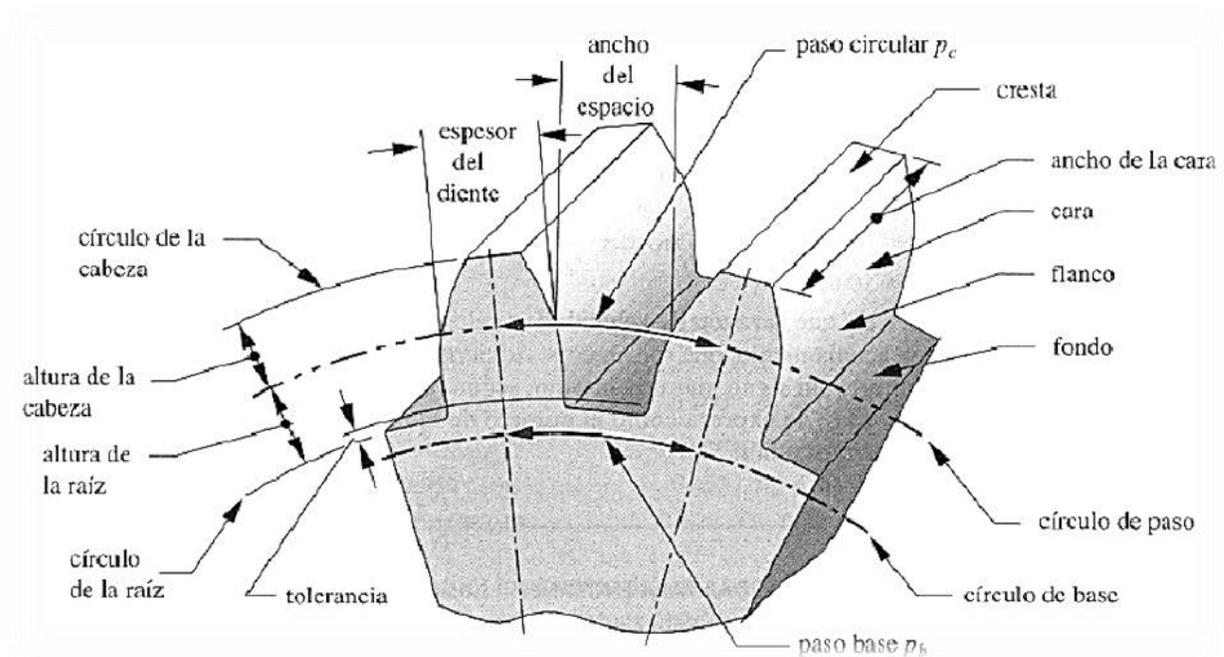


Fig. 44 Componentes de un engrane

En los engranajes helicoidales por su naturaleza (dientes de hélice) va a tener dos pasos: paso circular normal (P_n) y paso transversal (P_t). Relacionados por la ecuación siguiente:

$$P_n = (P_t) \cos (\Psi)$$

Cuando $\Psi = 0$ entonces $P_n = P_t$

Donde Ψ es el ángulo de la hélice.

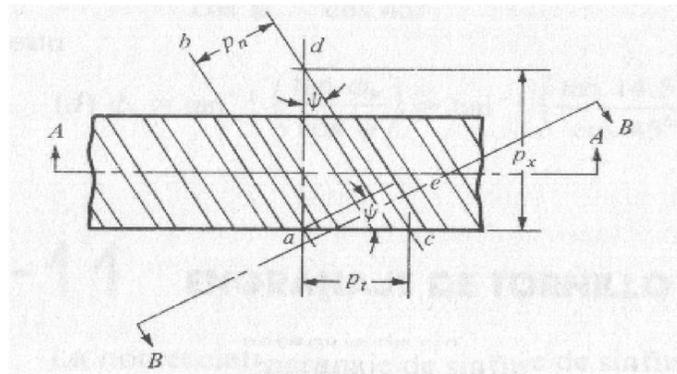


Fig. 45 Engranaje con dos pasos P_n, P_t

Supongamos que un plano oblicuo a, b , corta al engrane según ψ en un arco, este arco tiene radio de curvatura R . Si $\psi = 0$ entonces $R = D/2$

Si ψ crece hasta llegar a los 90 grados entonces R será ∞

Por lo tanto, se entiende que cuando ψ aumenta, R también lo hace.

En los engranajes helicoidales el radio de paso es R .

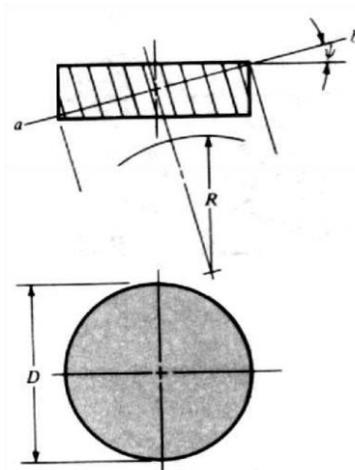


Fig. 46 Circunferencia de paso

Tabla 4 Parámetros geométricos de un engranaje

Parámetro	Símbolo	Expresión de cálculo
Paso	p	$\pi.m$
Módulo	m	$\frac{D_p}{z}$
Radio de paso	r_p	$\frac{m.z}{2}$
Radio de base	r_b	$\frac{m.z}{2} \cdot \cos \alpha$
Radio exterior	r_e	$\frac{m}{2} \cdot (z + 2)$
Radio interior	r_i	$\frac{m}{2} \cdot (z - 2.5)$
Dist. entre centros	a	$\frac{m}{2} \cdot (z_1 + z_2)$
Adendum	A	$r_e - r_p$
Dedendum	L	$r_p - r_i$

3.2.1 Medición del espesor del diente

Se denomina espesor del diente a la longitud del arco de la circunferencia primitiva comprendido entre los dos perfiles de un diente. El intervalo (entre diente) es la longitud del arco de la circunferencia primitiva comprendido entre los perfiles de dos dientes consecutivos que limitan el entrediente.

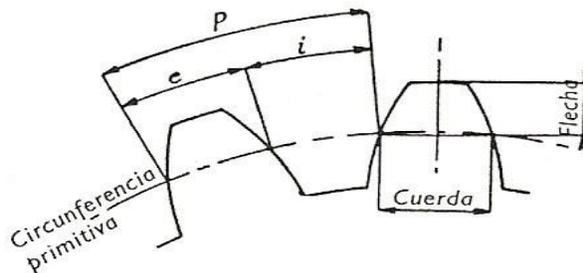


Fig. 47 Espesor del diente (e) y el intervalo (i) entre dientes

El espesor del diente puede medirse por diversos procedimientos. Entre los más sencillos se basan en la medición o comprobación de la longitud de la cuerda que subtiende el arco correspondiente al espesor, llamada espesor cordal; en estos sistemas la determinación de los puntos extremos de la cuerda a-a de la fig. 48, exigen la medición o comprobación de la distancia de la cuerda a la cabeza del diente llamada flecha del diente o adendum cordal.

Cualquier factor de error introducido por la medición del diente llamada, tales como la excentricidad de la circunferencia exterior, la rugosidad de la superficie de la cabeza del diente, entre otros, afectan a la precisión de la medición del espesor del diente.

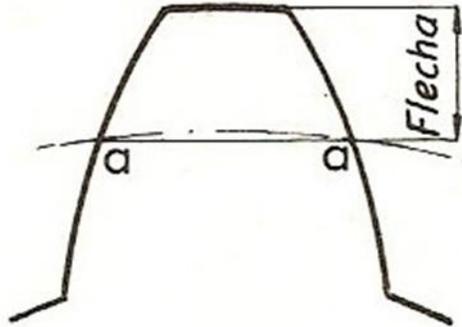


Fig. 48 Puntos extremos de la cuerda a-a

Diversos procedimientos para medir el espesor de diente.

- Empleo del pie de rey de doble nonius (este se describe más adelante)
- Empleo del comparador SYKES (comparador de caratula SYKES)
- Verificación del espesor del diente por comprobación de la medida sobre un numero K de dientes. (utiliza micrómetros de platillo y vernier)

Empleo del pie de rey de doble nonius.

Este aparato fig. 49 posee dos graduaciones perpendiculares ortogonales: una dispuesta en el sentido horizontal, forma parte de una especie de pie de rey y mide el valor de la cuerda del diente; la otra, dispuesta verticalmente, indica el valor de la flecha del diente por medio de un nonio solidario a una regla deslizante.

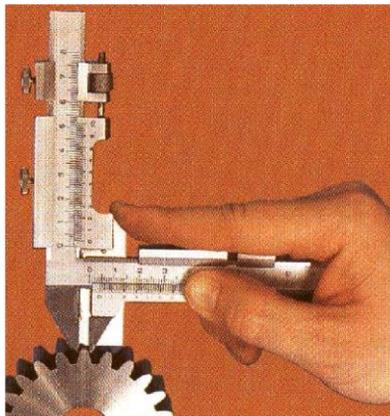


Fig. 49 Pie de rey de doble nonius.

La posición relativa de las puntas de medición y del diente se representa en la fig. 50 las medidas se hacen a partir del cilindro exterior (de cabeza) y están en consecuencia influenciadas por su excentricidad y la rugosidad de esta superficie.

Si el diámetro exterior es diferente al valor exacto hay que tenerlo en cuenta en el reglaje, para lograr que las puntas que miden la cuerda se apoyen en el perfil del diente en los puntos correspondientes a la circunferencia primitiva.

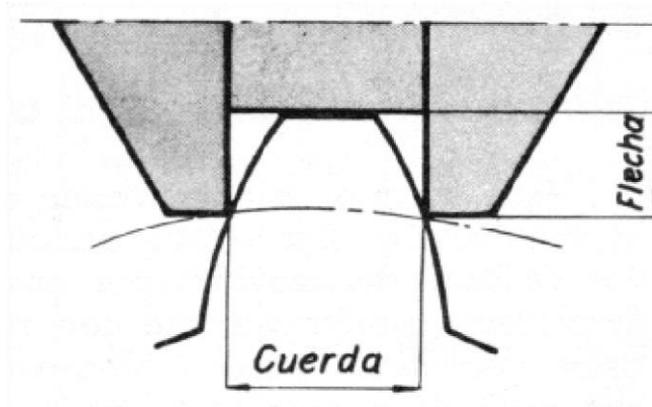


Fig. 50 Posición relativa de los puntos de medición del pie de rey y el diente en la medición del espesor.

Este procedimiento simple y atractivo en apariencia, está lleno de errores sistemáticos de tal magnitud que solo puede emplearse para engranajes que forman parte de mecanismos bastos, destinados a cajas de velocidades, de gran módulo.

Estos instrumentos fáciles de manejar se construyen de acero, con las bocas cuidadosamente templadas y rectificadas, y con pastillas de metal duro en las puntas de contacto para que no se desgasten prematuramente.

3.2.2 Comprobación del perfil del diente

Se denomina perfil del diente a la intersección de los flancos de los dientes con un plano o superficie determinados según el tipo de engranaje.

En los engranajes cilíndricos de dentado recto, el perfil de los dientes se determina por la intersección de la superficie dentada con un plano perpendicular al eje de la rueda o piñón.

La forma del perfil de los flancos o superficie activa de los dientes en los engranajes normales es la de un arco de evolvente de circunferencia.

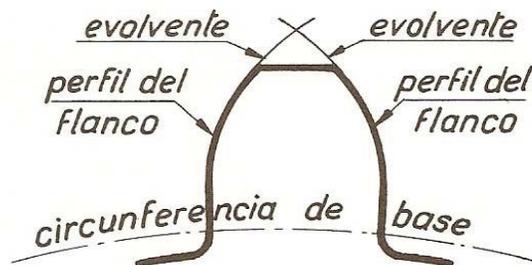


Fig. 51 Perfil de los flancos de un diente en un arco de evolvente de circunferencia.

En ciertos casos, los constructores modifican el perfil envolvente adelgazando la punta del diente, dando un rebaje en la parte superior para mejorar condiciones de funcionamiento de los engranajes y su resistencia.



Fig. 52 Perfil de evolvente retocado, las líneas de puntos representan el perfil sin retocar.

Las curvas evolventes que forman el perfil de los flancos tienen como origen la circunferencia base de la rueda o piñón es la que sirve para el trazado de la evolvente y cuyo diámetro tiene una medida que se calcula por la fórmula:

$$d_b = d \cdot \cos \alpha$$

En la que d_b es el diámetro de la circunferencia base, d es el diámetro primitivo y α es el ángulo de presión.

El paso base es: $P_b = \pi d_b / Z$

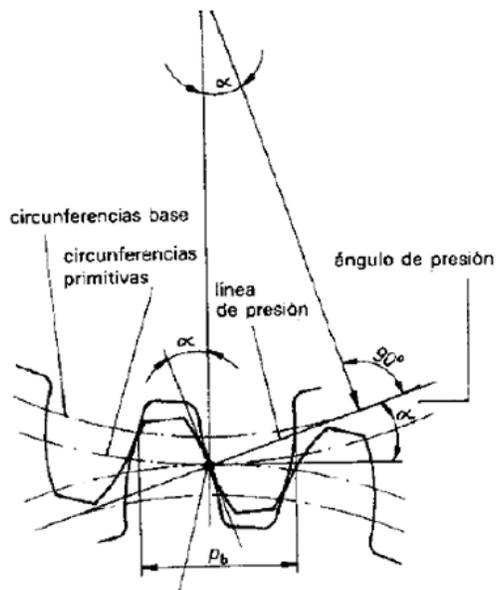


Fig. 53 Circunferencia de paso y circunferencia primitiva

3.2.3 Comprobación del paso circular

En un engranaje el espaciado de los dientes debe ser constante. Recordando algunos conceptos tenemos:

Paso primitivo (P): Es la longitud del arco de la circunferencia, comprendido entre los flancos homólogos de 2 dientes consecutivos.

$$P = \frac{\pi D}{N} = \pi M$$

D= Diámetro primitivo
 Número de dientes
 Módulo

N=
 M=

Paso normal (p) es la distancia constante que separa dos flancos homólogos de dos dientes sucesivos.

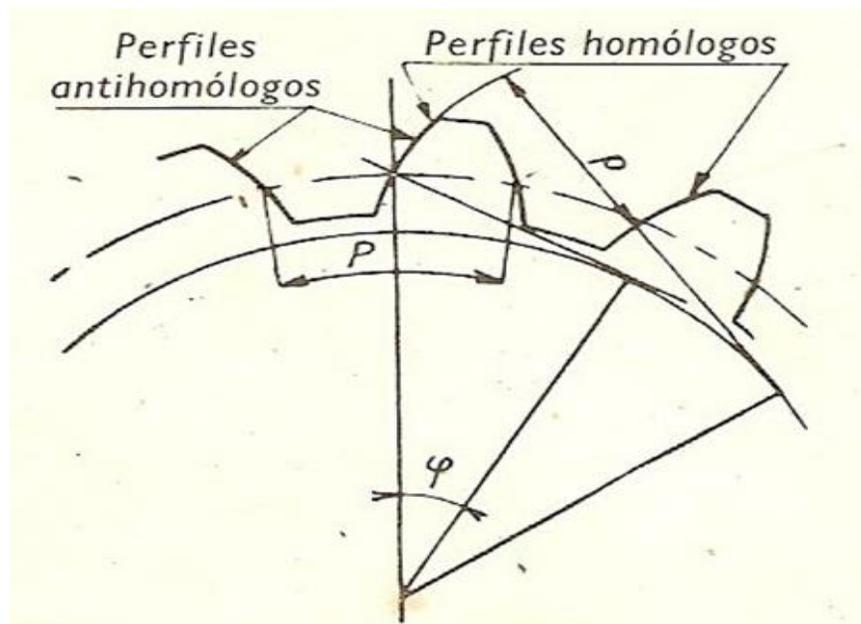


Fig. 54 Distancia entre dos dientes sucesivos

El engranaje se centra perfectamente por su centro, y el perfil de un diente se pone en contacto con un tope, aproximadamente en la circunferencia primitiva; el tope debe apoyarse solamente sobre un perfil. Un palpador unido a un comparador de contacto con el perfil homólogo diametralmente opuesto e igualmente en la

proximidad de la circunferencia primitiva. El comparador se pone en 0 al empezar la medición, y se anotan sus indicaciones a medida que los perfiles homólogos sucesivos van tomando contacto con el tope. La desviación entre las indicaciones máximas y mínima del comparador se toma como medida del error total de división, en el diámetro primitivo.

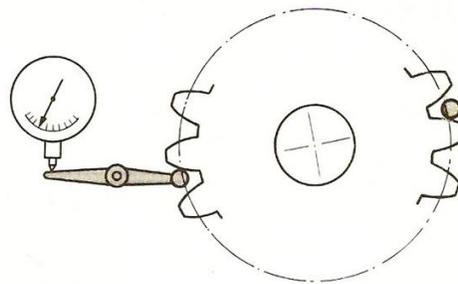


Fig. 55 Método de medición aproximada del error total de división entre dientes

3.3 Comprobación de la concentricidad

Como base de medida se utilizan piezas adecuadas que se aplican en los huecos de los dientes.

Para esta comprobación se utiliza el instrumento adecuado el cual debe poder girar libremente sin holguras. Las discrepancias de concentricidad se leen en el indicador de precisión que va unido a la pieza que se está midiendo.

Concentricidad es la diferencia de posición en sentido radial con respecto al eje de la rueda, medida en los huecos de los dientes, en las proximidades del círculo primitivo.

Concentricidad es la condición que indica que dos centros o ejes de círculos ó cilindros respectivamente deben coincidir en una zona de tolerancia circular ó cilíndrica del tamaño de la zona de tolerancia indicada.

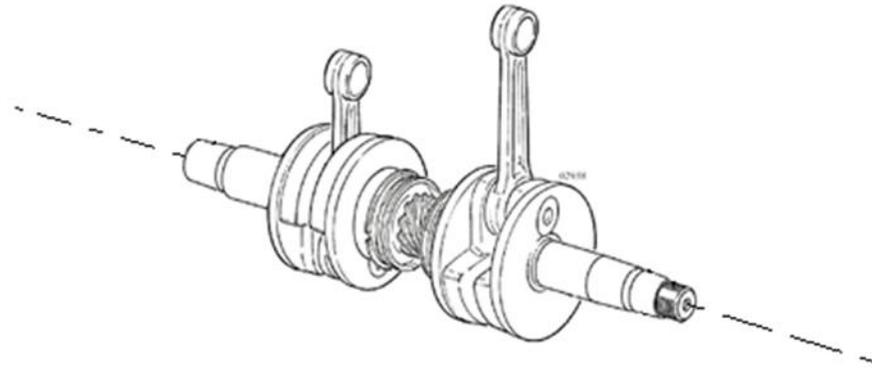


Fig. 56 Indicación de concentricidad entre dos centros

Para la medición de la concentricidad son aptos tanto los sensores de triangulación como el micrómetro láser.

Los sensores de triangulación deben ajustarse verticalmente al eje de giro, para conseguir resultados de medición adecuados. Para la selección del sensor son decisivas el área, la distancia y la exactitud requerida de medición.



Fig. 57 Variaciones en la concentricidad de una pieza detectadas mediante sensores láser.

3.4 Comprobación del diámetro primitivo

La comprobación se puede llevar a cabo mediante los siguientes métodos:

- Rodillos patrones, en función del ángulo de presión (se describe más adelante)
- Sistemas de medición mediante anillos patrón.
- Sistema de medición para engranajes de dientes interiores mediante tampón liso.
- De Diafragma.

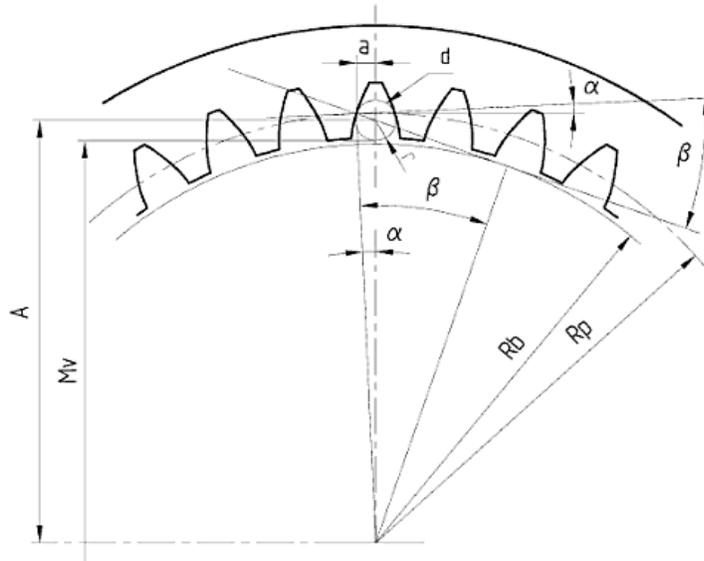


Fig. 58 Cálculo analítico para obtener el diámetro nominal M_v de los rodillos patrones de dientes pares.

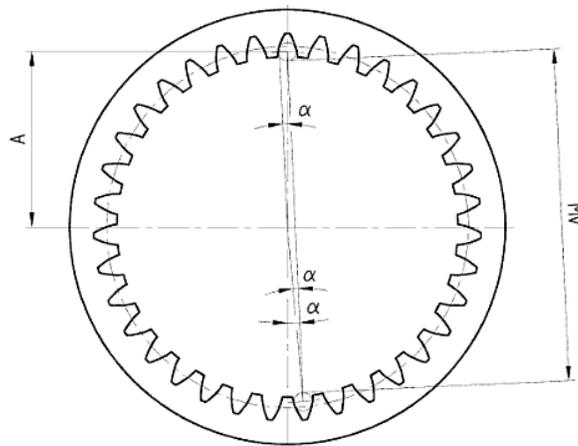


Fig 59 Cálculo analítico de la medida M_v para engranes de dientes impares.

Designación

Z = Número de dientes del engranaje a medir

M = Módulo

β = Ángulo de presión

∞ = Ángulo auxiliar

r = Radio del rodillo patrón

a = Medida auxiliar

d = Diámetro de los rodillos patrones

A = Distancia del eje del engranaje al centro del rodillo patrón

Mv = Medida a verificar

Rp = Radio de la circunferencia primitiva

Rb = Radio de la circunferencia base

Fórmulas

$$\infty = 90^\circ / Z$$

$$a = Rp (\text{sen } \infty)$$

$$d = 2(r)$$

$$R = a / \cos (\beta - \infty)$$

$$A = Rb / \cos (\beta - \infty)$$

$$Mv = 2A - d \quad \text{dientes pares}$$

$$Mv = 2A(\cos \infty) - d \quad \text{dientes impares}$$

3.5 Tolerancias normalizadas.

Como ya lo veíamos anteriormente, a la hora de elegir el ajuste se tienen en cuenta dos criterios, la función mecánica que desempeñan las piezas que se acoplan, y la precisión exigida.

En un sistema normalizado de tolerancias y ajustes, la calidad es el conjunto de tolerancias correspondientes a un mismo grado de precisión para todas las medidas nominales. Siguiendo el mismo razonamiento, se definen también los ajustes y tolerancias para las roscas y los engranajes.

Por Calidad de la Tolerancia entendemos, el grado de precisión de la tolerancia, es decir, la diferencia entre las medidas máxima y mínima. Se representa mediante un número.

Tabla 5 Valores de tolerancias para diferentes módulos

Módulo m	Tolerancia en mm	
	para ruedas cilíndricas de dientes rectos	para ruedas helicoidales y cónicas
1,5-2	— 0,05	— 0,04
2-2,5	— 0,06	— 0,05
2,5-3	— 0,07	— 0,06
3-3,5	— 0,08	— 0,07
4-5	— 0,09	— 0,08

Tabla 6 Valores numéricos de las tolerancias fundamentales

VALORES NUMERICOS DE LAS TOLERANCIAS FUNDAMENTALES
(valores en μm)

Grupos de Diámetros (mm)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
Hasta 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
>3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
>6 a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
>10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
>18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
>30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
>50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
>80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
>120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
>180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
>250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
>315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
>400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Precisión y exactitud.....	8
Fig. 2 Error de posición.....	11
Fig. 3 Reglas graduadas en centímetros y pulgadas.....	13
Fig. 4 Compás.....	14
Fig. 5 Lainas.....	14
Fig. 6 Cuenta hilos.....	15
Fig. 7 Patrones de radio.....	15
Fig. 8 Calibrador pie de rey o vernier.....	16
Fig. 9 Vernier con lectura de 1" 61/128	17
Fig. 10 Vernier con lecturas en milímetros.....	17
Fig. 11 Vernier con carátula.....	18
Fig. 12 Calibrador electro-digital	18
Fig. 13 Calibrador de profundidad.....	19
Fig. 14 Micrómetros de exteriores e interiores.....	20
Fig. 15 Micrómetro con lectura de 16.5 mm.....	20
Fig. 16 Reloj comparador básico.....	21
Fig. 17 Comparador de alturas con reloj.....	22
Fig. 18 Comparador de diámetro.....	22
Fig. 19 Escuadra universal.....	23
Fig. 20 Goniómetro.....	23
Fig. 21 Regla de senos.....	24
Fig. 22 Tornillos.....	25
Fig. 23 Tipos de roscas.....	26
Fig. 24 Tornillo.....	27
Fig. 25 Tornillo.....	27
Fig. 26 Tornillo.....	27
Fig. 27 Tornillo.....	27
Fig. 28 Tornillo.....	27
Fig. 29 Diámetro exterior.....	28
Fig. 30 Diámetro de fondo, del núcleo o interior.....	29
Fig. 31 Diámetro de los flancos.....	29
Fig. 32 Reloj de medición para roscas interiores.....	30
Fig. 33 Paso de una rosca.....	31
Fig. 34 Medición de paso.....	32
Fig. 35 Verificación de roscas por medio de calibres.....	33
Fig. 36 Rosca métrica.....	35
Fig. 37 Rosca Sellers o rosca americana.....	36
Fig. 38 Rosca Whitworth o rosca inglesa.....	36
Fig. 39 Rosca redonda.....	37
Fig. 40 Rosca trapezoidal.....	37
Fig. 41 Rosca de dientes de sierra.....	38
Fig. 42 Engranés con ejes paralelos.....	41
Fig. 43 Engranés con ejes perpendiculares.....	42

Fig. 44 Componentes de un engrane.....	44
Fig. 45 Engranaje con dos pasos P_n , P_t	45
Fig. 46 Circunferencia de paso.....	45
Fig. 47 Espesor del diente (e) y el intervalo (i) entre dientes.....	47
Fig. 48 Puntos extremos de la cuerda a-a.....	48
Fig. 49 Pie de rey de doble nonius.....	48
Fig. 50 Posición relativa de los puntos de medición con del pie de rey.....	49
Fig. 51 Perfil de los flancos de un diente en un arco de evolvente.....	50
Fig. 52 Perfil de evolvente retocado.....	51
Fig. 53 Circunferencia de paso y circunferencia primitiva.....	51
Fig. 54 Distancia entre dos dientes sucesivos.....	52
Fig. 55 Medición aproximada del error total de división entre dientes.....	53
Fig. 56 Indicación de concentricidad entre dos centros.....	54
Fig. 57 Variaciones en la concentricidad de una pieza detectadas mediante sensores laser.....	54
Fig. 58 Cálculo analítico para obtener el diámetro nominal M_v de los rodillos patrones de dientes pares.....	55
Fig. 59 Cálculo de la medida M_v para engranes de dientes impares.....	55

INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Sistema de unidades fundamentales.....	5
Tabla No. 2 Sistemas de unidades derivadas.....	5
Tabla No. 3 Roscas más usuales.....	40
Tabla No. 4 Parámetros geométricos de un engranaje.....	46
Tabla No. 5 Valores de tolerancias para diferentes módulos.....	57
Tabla No. 6 Valores numéricos de las tolerancias fundamentales.....	57

FUENTES DE INFORMACIÓN

Metrología, Carlos González González – Ramon Zeleny Vázquez
Metrología: Introducción, Conceptos E Instrumentos - María Moro Piñeiro
Alrededor De La Maquinas-Herramientas - Heinrich Gerling
Maquinas Herramientas Y Manejo De Materiales - Hernan W. Polack
Máquinas Herramientas. Apuntes De Taller 3 - Marino Carazo López
Máquinas Herramientas. Apuntes De Taller 2 - Marino Carazo López
Tecnología De Los Oficios Metalúrgicos - Leyensetter, Würtemberger, Sáenz
Diseño De Elementos De Máquinas - Robert L. Mott, Virgilio González
http://ing-mecanica-2010.mex.tl/1899814_Unidad2-1.html
http://www.sites.upiicsa.ipn.mx/polilibros/portal/polilibros/P_proceso/Metrologia
https://www.academia.edu/16275231/2.2_Calibrador_de_pie_de_rey_de_caratula_electro_digitales_de_profundidad
<http://metrologia.fullblog.com.ar/micrometro-871228131459.html>
<http://es.slideshare.net/farrukoo1994/instrumentos-de-comparacion>
<http://metrologia.fullblog.com.ar/goniometro.html>
http://www.ecured.cu/index.php/Regla_de_senos