

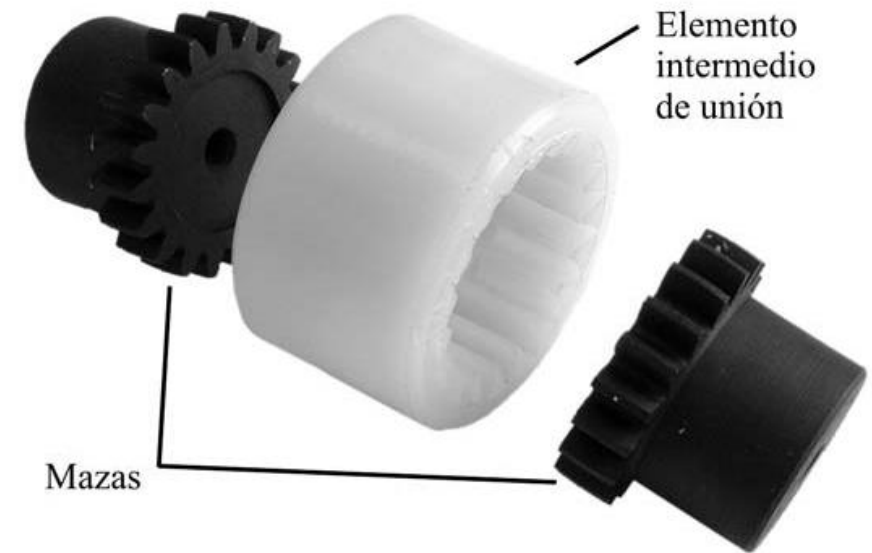
6 Acoplamiento y alineación de ejes

6.1 Introducción

- En maquinaria, es habitual la necesidad de conectar dos ejes, que pueden presentar diversas posiciones relativas.
- Cuando los dos ejes están enfrentados axialmente (uno a continuación de otro), se conectan mediante acoplamientos.
- Estos acoplamientos buscan minimizar el efecto negativo de posibles desalineaciones entre los ejes que conectan.

6.2 Acoplamiento de ejes

- Descripción de los acoplamientos.
 - El acoplamiento tiene por misión transmitir potencia, pero también puede tener otras:
 - Permitir desalineaciones y pequeños desplazamientos axiales.
 - Servir de fusible mecánico ante sobrecargas.
 - Amortiguar vibraciones.
 - Aislamiento eléctrico en atmósferas explosivas.
 - Al menos, dos componentes, que se fijan a los ejes, y que se denominan cubo, maza o brida.
 - Puede haber también elementos intermedios de unión.

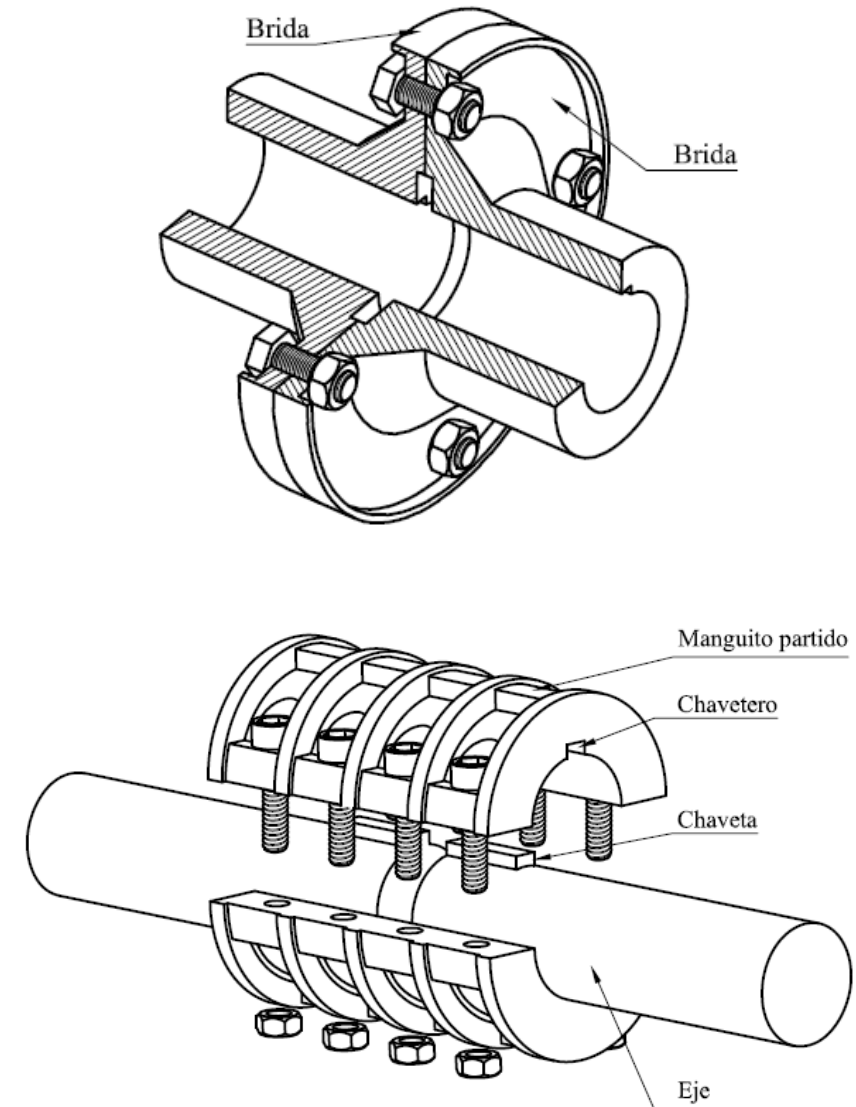


6.2 Acoplamiento de ejes

- Propiedades de los acoplamientos:
 - Flexibilidad angular y ante desplazamiento. Hay acoplamientos rígidos y flexibles. La flexibilidad puede ser angular o paralela. A más rigidez, más par se puede transmitir.
 - Flexibilidad a torsión. También ayuda al amortiguamiento de las vibraciones torsionales. Desventaja: se pierde el sincronismo.
 - Posibilidad de movimiento axial y flexibilidad axial. Dependiendo de si las mazas permiten movimiento axial respecto a los ejes a los que se unen (posibilidad de movimiento axial) o si van fijadas a los ejes y es el elemento intermedio el que posee flexibilidad axial. Importante por dilataciones térmicas.
 - Amortiguamiento de vibraciones. Gracias a la flexibilidad. La más importante es la flexibilidad a torsión. Cuidado con las frecuencias naturales de los acoplamientos.
 - Limitación de par. Fusible mecánico. Actualmente esta función ha perdido importancia por la existencia de otros elementos cuya actuación no implica la rotura del componente.
 - Aislamiento térmico. Soportan altas temperaturas y poseen un elemento con baja conductividad.
 - Aislamiento eléctrico. Poseen algún elemento que no es conductor de la electricidad.

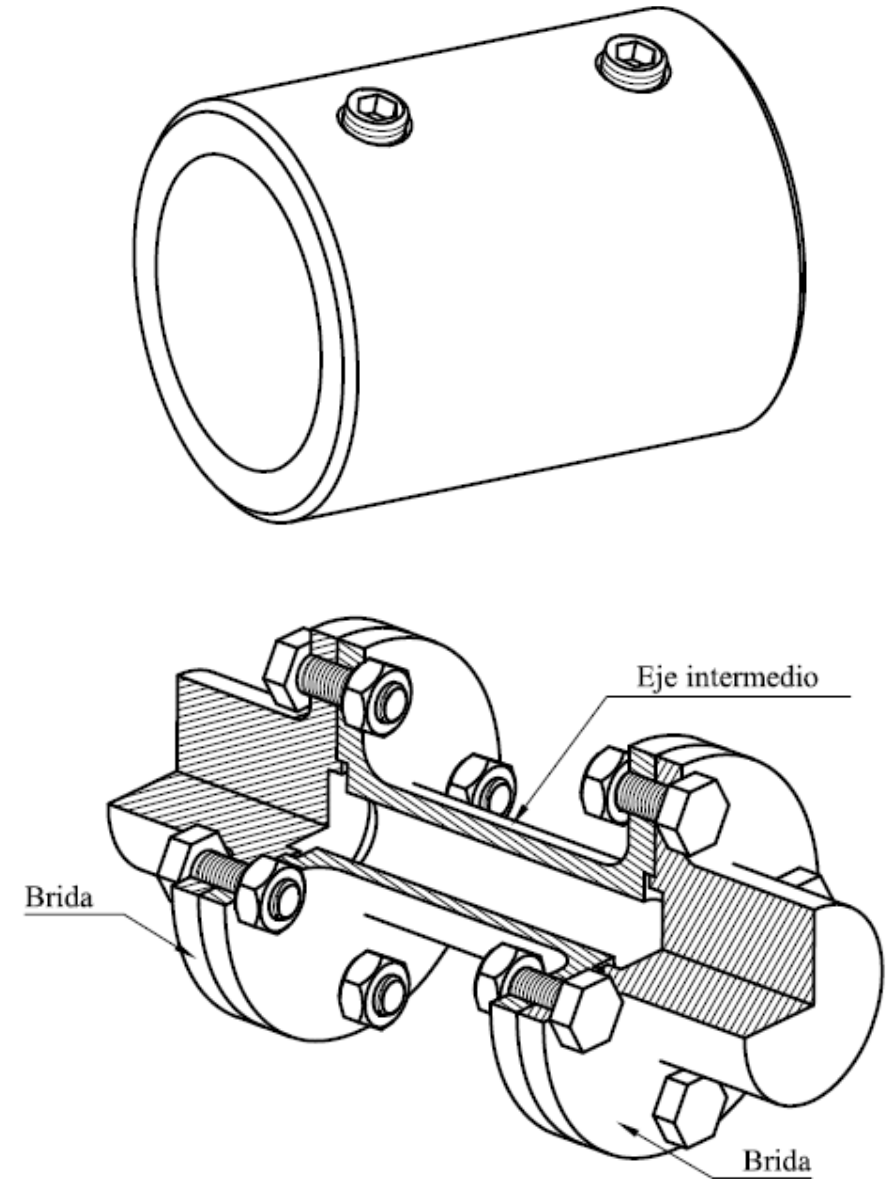
6.2 Acoplamiento de ejes

- Tipos de acoplamientos.
 - Acoplamientos rígidos.
 - Cuando no hay desalineación o dilatación durante el funcionamiento, o para ejes largos y poco rígidos.
 - Acoplamiento de bridas. Puede ir suelto sobre uno de los ejes para no transmitir esfuerzos axiales. Precarga de pernos para transmisión por rozamiento, no por cortadura de los pernos. Fijación al eje mediante chavetas (común) o bujes. No requiere lubricación.
 - Acoplamiento de manguito partido. División longitudinal permite montaje y desmontaje sin separar las máquinas. Fijación al eje mediante chavetas o ajustes a presión.



6.2 Acoplamiento de ejes

- Acoplamiento de manguito.
 - Camisa rígida o manguito fijado con prisioneros (poco par).
 - Manguito ahusado partido con extremos cónicos y bridas con agujeros cónicos precargadas por tornillos longitudinales.
 - Requieren buena alineación. No lubricar, ya que el par se transmite por rozamiento.
- Acoplamiento con eje intermedio. Similar al de bridas. Eje intermedio más flexible. Permite montar y desmontar sin mover las máquinas. Grandes potencias (turbinas gas y vapor).



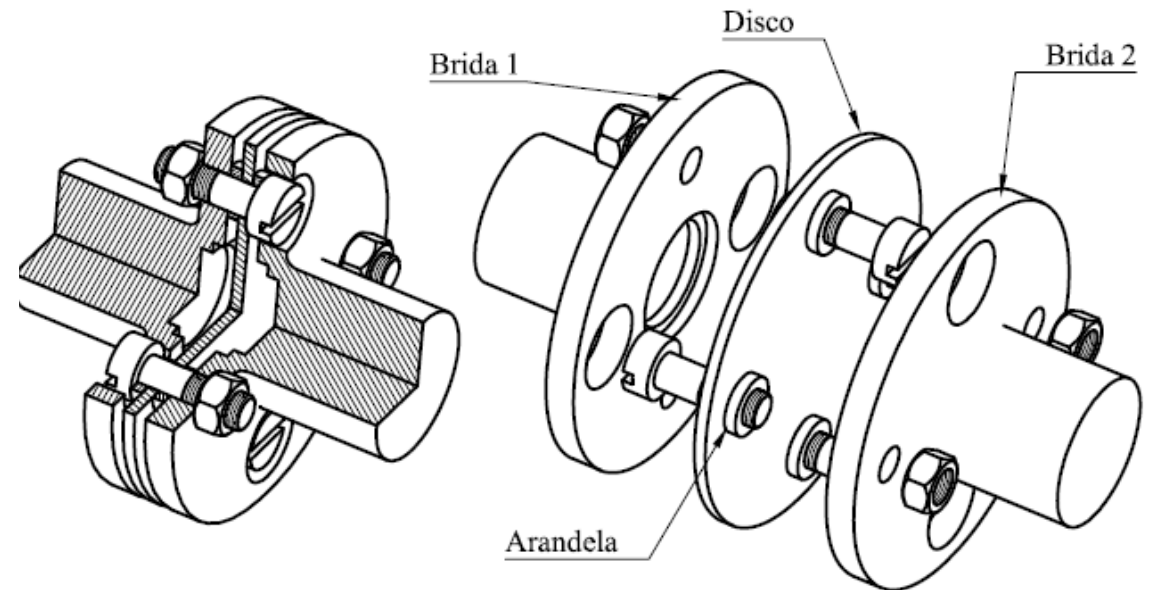
6.2 Acoplamiento de ejes

- Acoplamientos flexibles para potencias pequeñas.
 - Electrodomésticos y dispositivos de control e instrumentación.
 - Acoplamiento de fuelle. Flexibilidad angular, algo a torsión (amortiguamiento) y axial. Unión a los ejes por fricción. Se monta y desmonta sin separar las máquinas. También lo hay de muelle (para ejes que forman ángulo).
 - Acoplamiento flexible con forma de 8. Unión a eje con prisioneros. Flexibilidad angular y axial. Amortiguamiento.



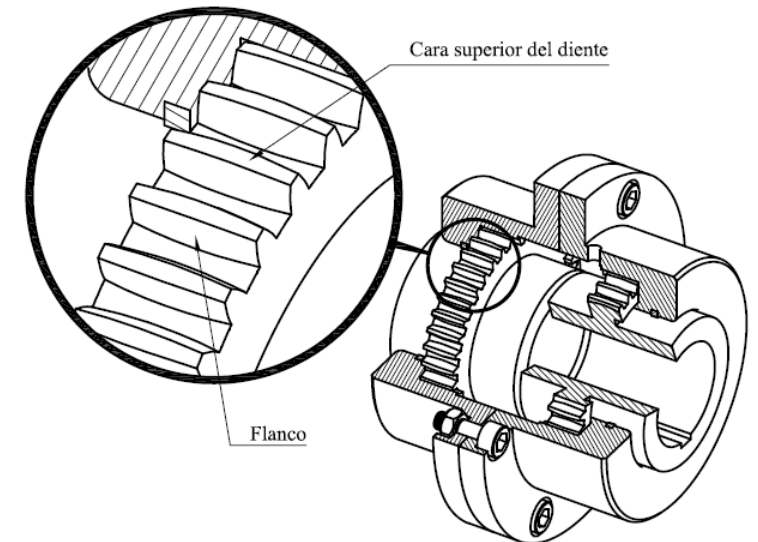
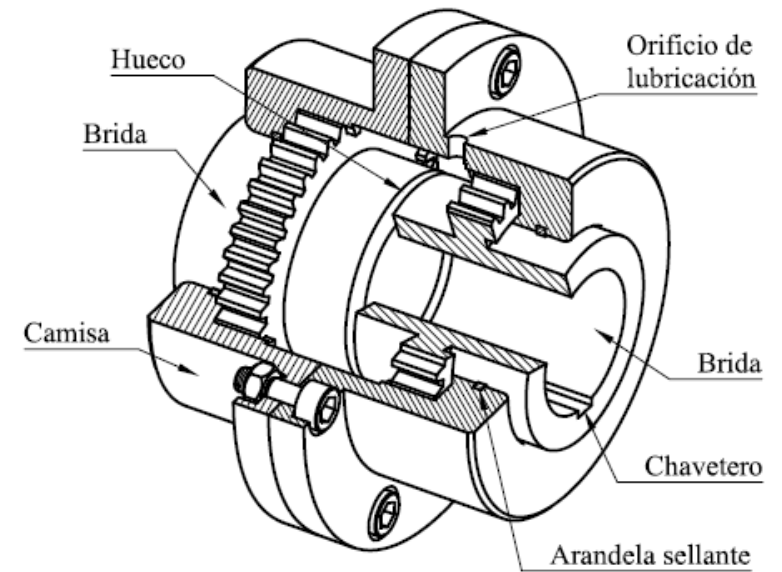
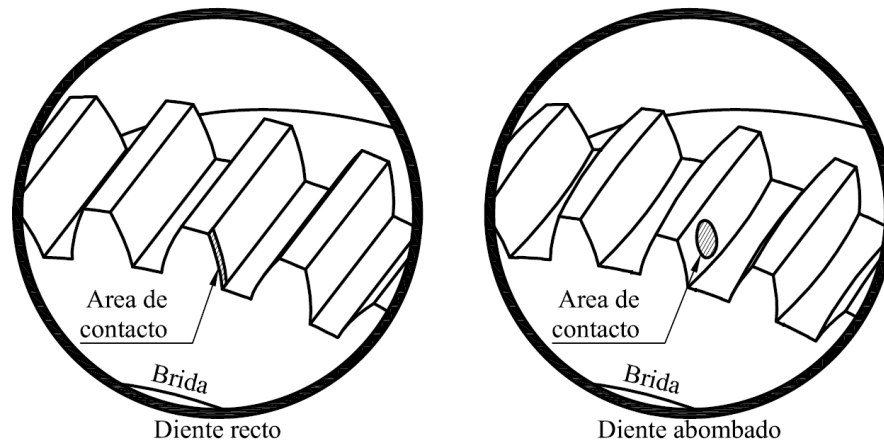
6.2 Acoplamiento de ejes

- Acoplamiento de engranaje. Holguras entre mazas y camisa proporcionan flexibilidad angular y axial.
- Acoplamiento de disco. La holgura creada por las arandelas es fundamental para la flexibilidad. Alta angular y moderada axial. El disco absorbe las deformaciones, aunque soporta fatiga.



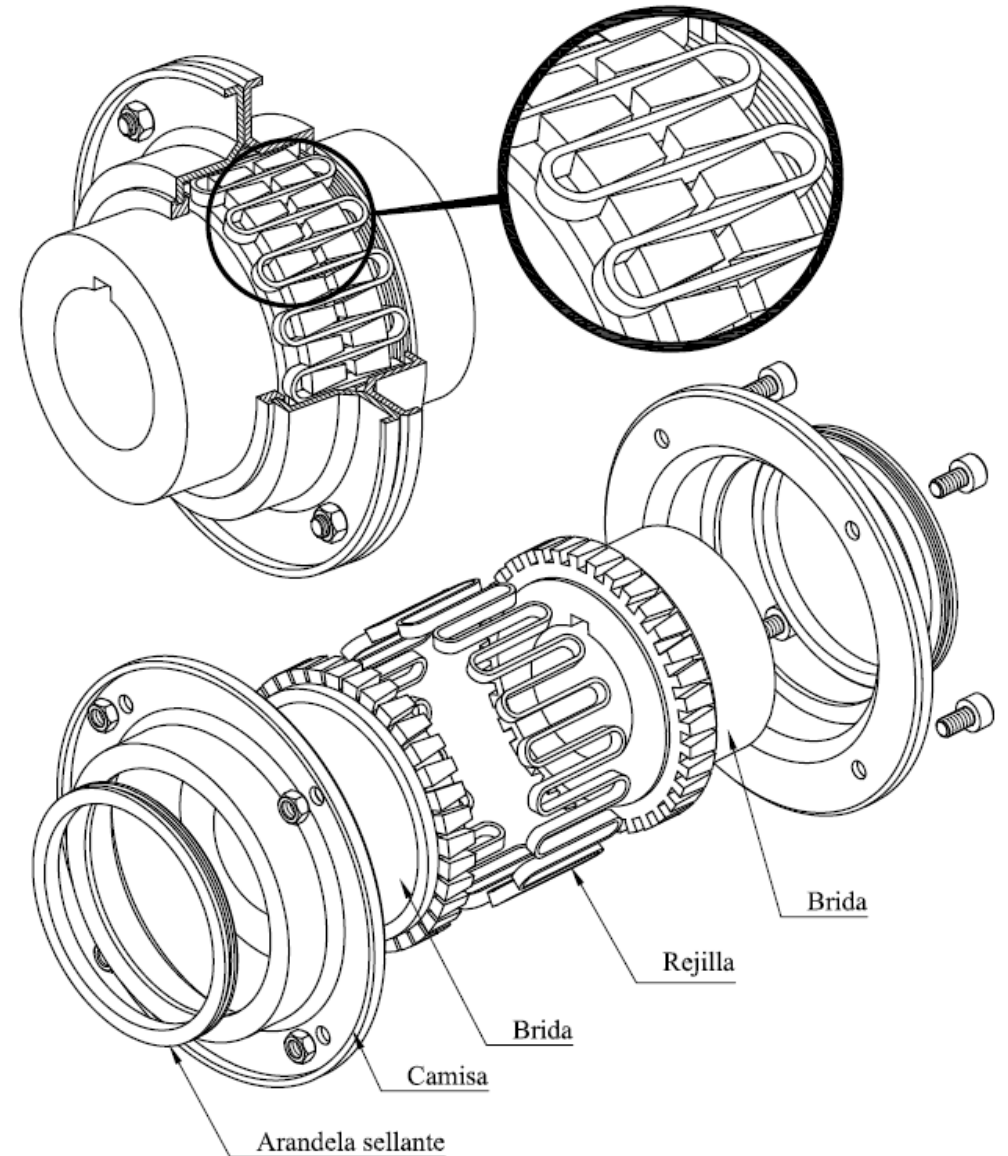
6.2 Acoplamiento de ejes

- Acoplamientos flexibles industriales.
 - Potencias moderadas o altas.
 - Acoplamientos mecánicamente flexibles. La flexibilidad se consigue mediante mecanismos, no mediante deformación. Sometidos a desgaste, requieren lubricación.
 - De engranaje. Hueco entre mazas para desalineación angular. Huecos entre dientes. Flexibilidad angular y movimiento axial.
 - De engranaje de dientes abombados. Más flexibilidad angular y menor concentración de tensiones en los dientes.



6.2 Acoplamiento de ejes

- De cadena. El elemento transmisor es una cadena en la que los pasadores son únicos y abarcan todo el ancho de la cadena. Suele ir cerrado por una camisa que protege y contiene el lubricante. Distintos tipos de cadenas. Flexibilidad angular, paralela y torsional, pero poca axial.
- De rejilla. Flexibilidad angular, paralela, axial y torsional.



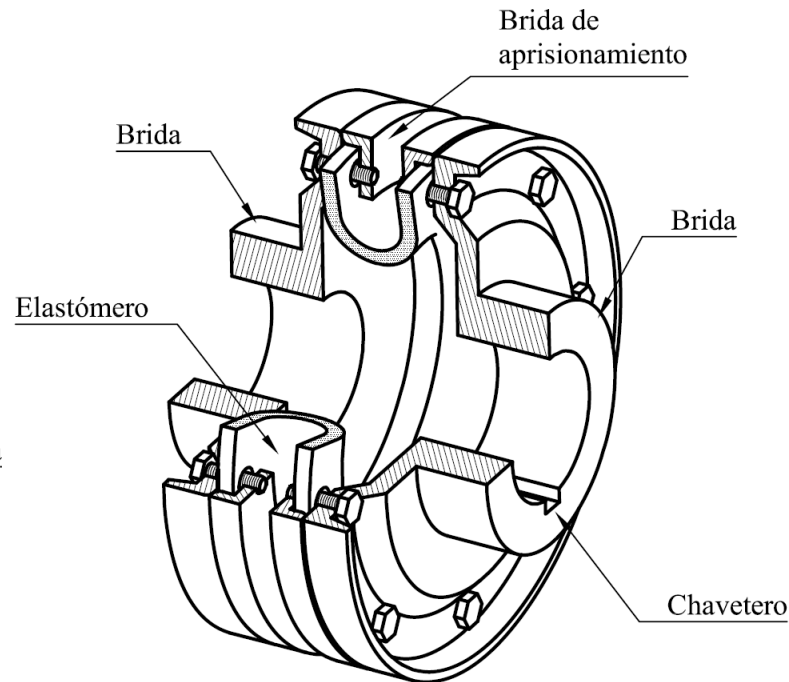
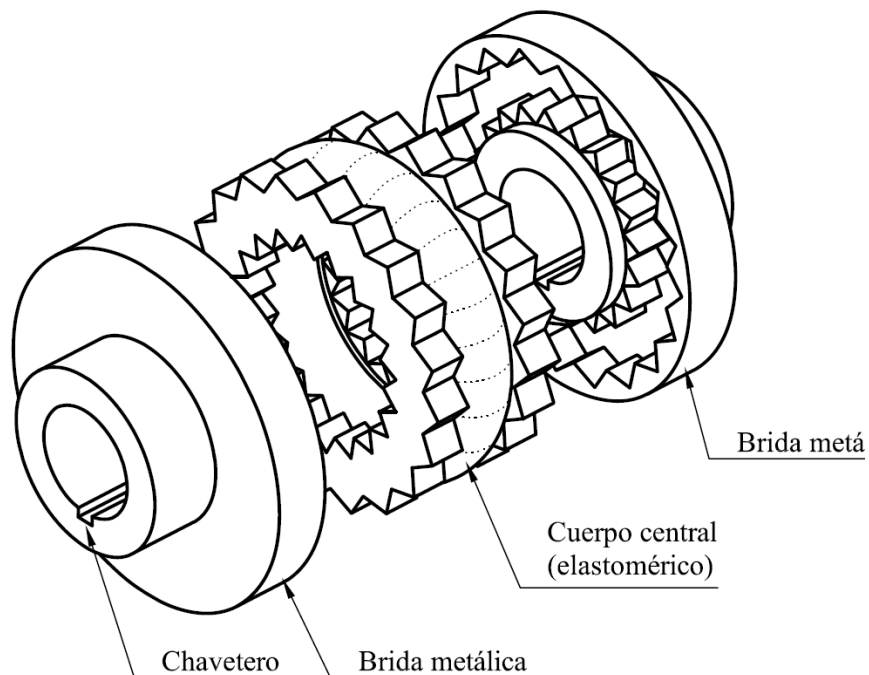
6.2 Acoplamiento de ejes

- Junta universal. Permite que las barras formen cualquier ángulo en el espacio. Para desplazamientos paralelos, se emplean tres barras conectadas por dos juntas universales. La no constancia en la relación de velocidades de la junta simple provoca vibraciones. El modelo doble sí permite relación de transmisión constante si ambos ángulos son iguales. Para ejes necesariamente desalineados. Desplazamiento axial gracias a elemento intermedio telescópico.
- Juntas homocinéticas. Para obtener relación de velocidades constante.



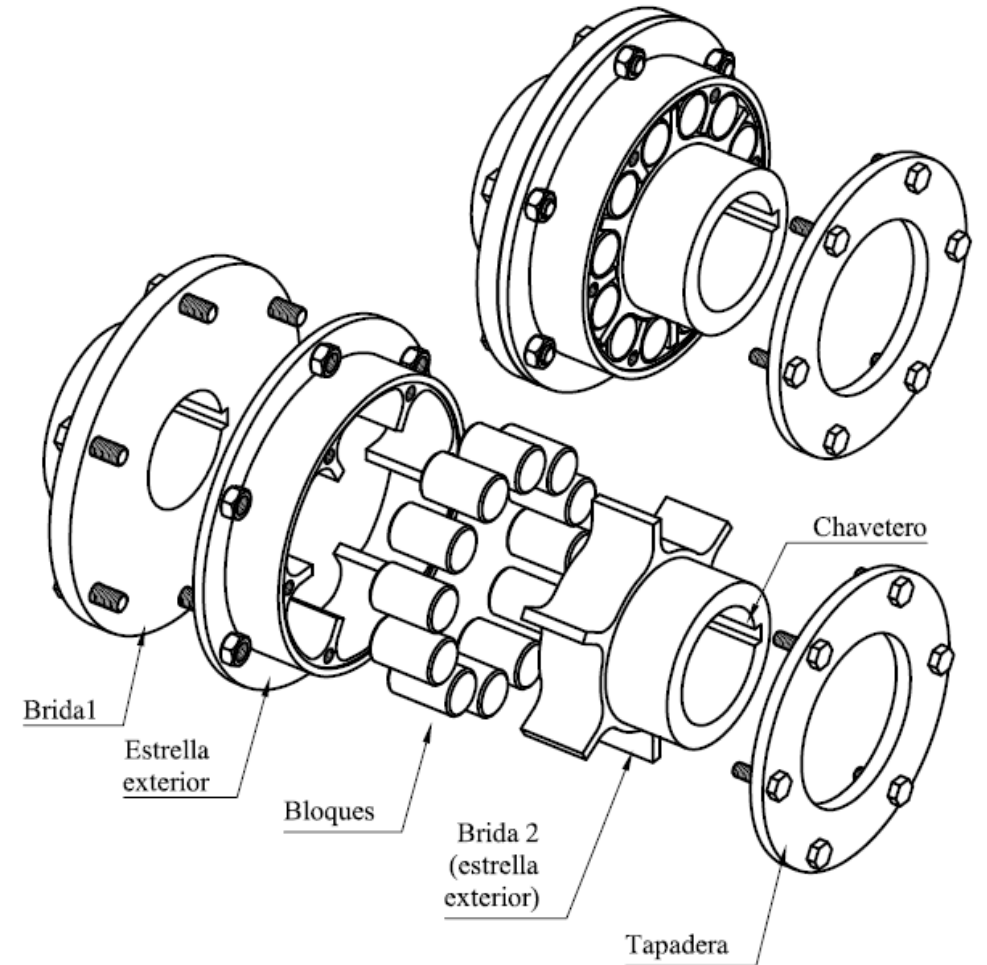
6.2 Acoplamiento de ejes

- Acoplamientos elastoméricos. La flexibilidad se consigue por la presencia de un elemento altamente elástico de baja rigidez.
 - A cortante. Elevada flexibilidad y amortiguamiento. Tipos: aglutinado o embutido, neumático, neumático invertido (más tensión tangencial, más flexibilidad), rosquilla.



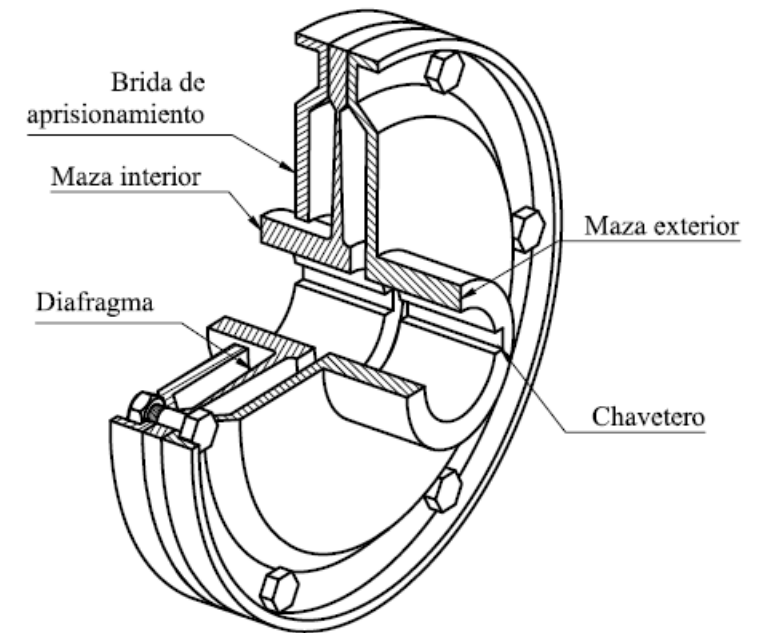
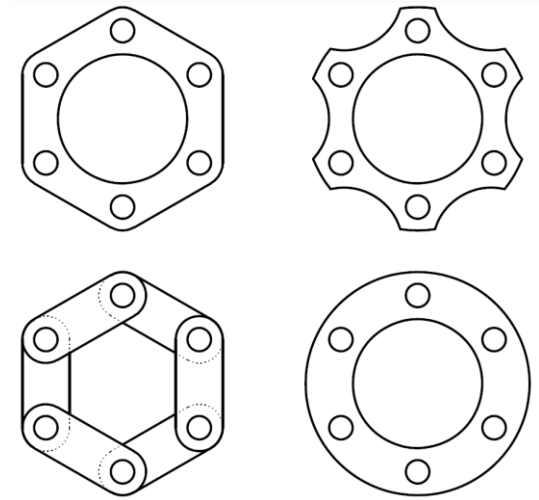
6.2 Acoplamiento de ejes

- A compresión. Tipos: de mordaza, de bloques.



6.2 Acoplamiento de ejes

- Acoplamientos de membrana metálica. Evolución de los mecánicamente flexibles con el fin de eliminar la lubricación.
 - Acoplamientos de disco. Una o varias membranas metálicas que se unen a cada maza en puntos alternos. Gran flexibilidad axial y angular, menos paralela y casi nula a torsión.
 - Acoplamientos de diafragma. La parte exterior del disco se conecta a una maza, y la interior a la otra. Buena flexibilidad angular, paralela y axial, y menos torsional.
 - Otros tipos de acoplamientos.



6.2 Acoplamiento de ejes

- Instalación y desinstalación de acoplamientos.
 - Preparación.
 - Comprobar que está todo el material necesario, instrucciones e información del fabricante.
 - Si el acoplamiento no se va a instalar de momento, asegurar protección de las piezas: metálicas, recubiertas por aceite o cera y envueltas en papel de protección; de goma, envueltas en una cubierta que impida el paso de humedad y luz.
 - Desmontar el acoplamiento e inspeccionar estado de las piezas.
 - Comprobar si hay rebabas o muescas en superficies de contacto: lijar o pulir si las hay.
 - Comprobar dimensiones (diámetros de mazas, chaveteros, longitud axial, etc.).



6.2 Acoplamiento de ejes

- Instalación de las mazas.
 - Eje cilíndrico y ajuste móvil. Colocar primero los elementos que van axialmente antes que la maza (cubiertas, sellos, camisas, etc.). Introducir la maza hasta el nivel indicado y fijarla.
 - Eje cilíndrico y ajuste fijo. Como el anterior, pero calentar la maza, montarla y dejarla enfriar antes de montar el resto de elementos. Si hay chaveta, debe quedar holgura al montar la maza para que no haya tensiones excesivas al enfriarse ésta.
 - Eje cilíndrico con buje intermedio. El buje cónico intermedio proporciona el auto-centrado de las piezas (apretar los tornillos de modo alterno).
 - Eje cónico y maza con agujero cónico. La interferencia se consigue mediante el calado axial de la maza en el eje (como en rodamientos con agujero cónico).
 - Mazas pre-taladradas. Mecanizar la maza para ajustar el agujero al diámetro del eje.



Eje recto con buje intermedio

6.2 Acoplamiento de ejes

- Alineación de los ejes: se explica más adelante.
- Ensamblaje del acoplamiento.
 - Acoplamientos lubricados. 1) Mecánicamente flexibles de engranaje, de cadena y de rejilla. Si es grasa, impregnar todas las piezas con movimiento relativo. Si es aceite, lubricar tras el montaje. Después, grasa a los anillos sellantes y montar. 2) Juntas universales. Evitar impactos. Mantener horizontal. Lubricar rodamientos.
 - Acoplamientos elastoméricos. Atornillar bridas a mazas de forma holgada. Envolver el acoplamiento con el elastómero y presionar hasta insertarlo entre bridas y mazas. Apretar los tornillos. Otros acoplamientos elastoméricos (rosquilla, mordaza) tienen un montaje más sencillo.
 - Acoplamientos de membrana. Fijar con tornillos siguiendo el patrón de apriete adecuado para una buena fijación sin precarga.



Acoplamientos elastoméricos

6.2 Acoplamiento de ejes

- Desmontaje del acoplamiento.
 - Asegurar que se dispone de todos los medios adecuados (instrucciones del fabricante, herramientas, contenedor limpio para depositar las piezas, rotulador indeleble, etc.).
 - Limpieza.
 - Localizar marcas de montaje en mazas o camisas para asegurar la posición relativa de las piezas (importancia por equilibrado o desgaste de adaptación alcanzado). Realizar marcas donde sea necesario, numerar las piezas, hacer un esquema.
 - En acoplamientos lubricados, retirar el lubricante por los agujeros de purgado.
 - Retirar tornillos (con la llave adecuada para no dañar las cabezas).
 - Separar las piezas, que suelen estar pegadas (juntas sellantes) con taladros roscados de desmontaje (si los hay) o golpeando las mazas suavemente.
 - Poner recipiente para recoger el lubricante que salga al abrir, y desecharlo.
 - Desmontar las mazas.

6.2 Acoplamiento de ejes

- Lubricación de acoplamientos.
 - Los acoplamientos mecánicamente flexibles son los que requieren lubricación.
 - Importancia de la fuerza centrífuga de rotación sobre el lubricante. Los componentes de la grasa tienden a separarse.
 - Importancia de los sellos: de laberinto (en desuso) y elastoméricos.
 - Lubricación con grasa. Antes del ensamblaje: impregnar partes con movimiento relativo y montar. Después del ensamblaje: orificios de suministro de grasa. Poner la cantidad recomendada para no hacer fallar los sellos o aumentar la fricción viscosa.
 - Lubricación con aceite. 1) Confinada: comparte lubricación con otros elementos (sobre nivel de lubricante, bombeo o salpicadura; si toca el lubricante, taladros de acceso). 2) Auto-contenida: contiene el lubricante en su interior (impregnar antes del montaje, y suministrar después por orificios).

6.2 Acoplamiento de ejes

- Mantenimiento de acoplamientos.
 - Inspección.
 - Objetivo: detectar daños en piezas, controlar el desgaste, fugas de lubricante.
 - Observación.
 - Desmontaje. Atención a sellos y tapones. Separar piezas, limpiar en baño de disolvente y secar. Inspeccionar piezas (desgastes) y lubricante (posible aspecto jabonoso).
 - Verificar la correcta alineación de ejes.
 - Lubricación y ensamblaje.
 - Relubricación.
 - Vigilar el estado y la cantidad de lubricante (periodos normalmente largos).

6.3 Alineación de ejes

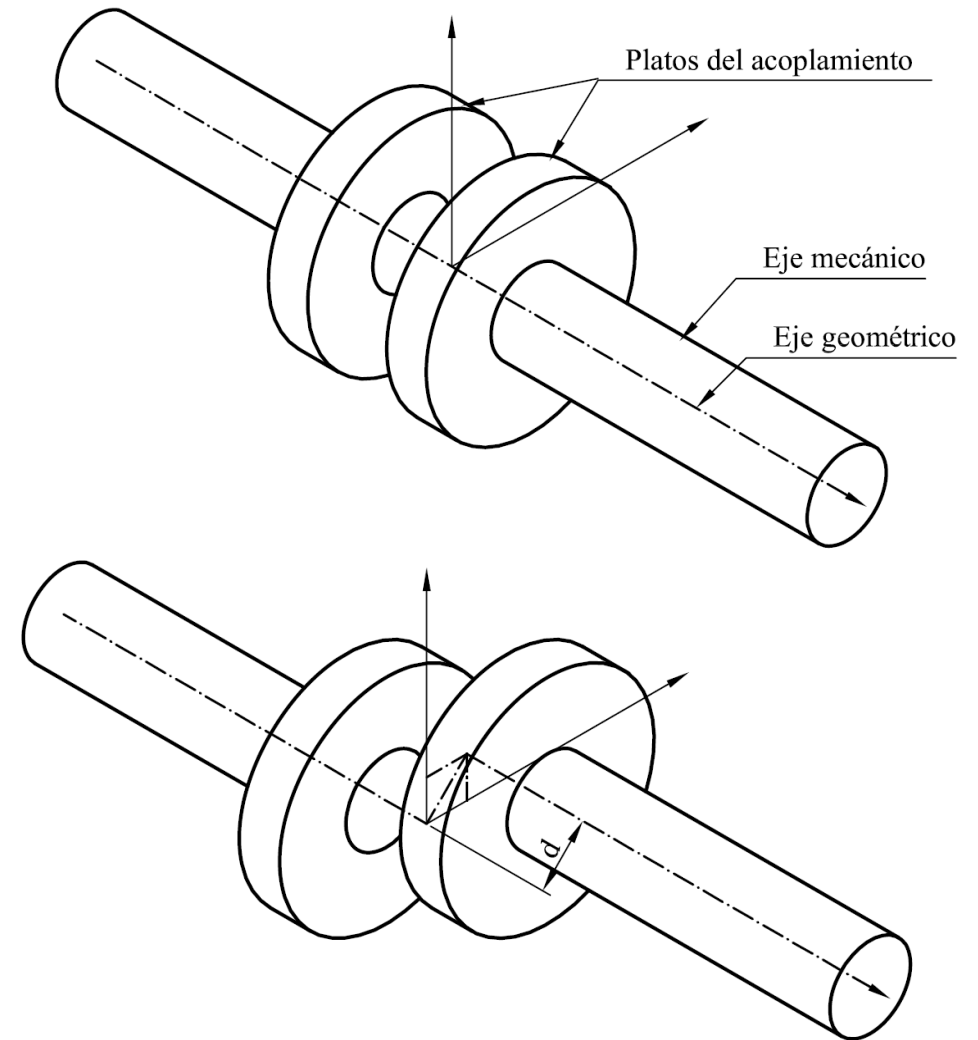
- Se mueve una de las partes, manteniendo fija la otra.
- Cuestión más crítica cuanto más potencia se transmite.
- Consecuencias de la mala alineación:
 - Desgaste y fallo prematuro del acoplamiento.
 - Recalentamiento, desgaste y fallo prematuro en cojinetes y rodamientos.
 - Sobrecarga y curvado de rotores y cigüeñales.
 - Desgaste de empaquetaduras y sellos mecánicos.
 - Fallo prematuro del eje por fatiga.
 - Ruido.
 - Vibraciones que disminuyen la vida y alimentan la desalineación.
 - Incremento en el consumo energético.

6.3 Alineación de ejes

- Es una de las causas más frecuentes de fallo en máquinas.
- Una máquina mal alineada puede costar un 20-30% más por mantenimiento, paradas y consumo energético.
- Causas de la desalineación:
 - Sobreestimación de la rigidez de la máquina provoca que haya deformaciones excesivas durante el funcionamiento.
 - Subestimación de las fuerzas y momentos.
 - Cimentaciones infra-dimensionadas o en mal estado.
 - Dilataciones por cambios de temperatura en bancada, ejes, rodamientos.
 - Bancadas o amarres en mal estado por grietas, errores en el apriete de pernos, etc.
- Verificación periódica: atención a síntomas.

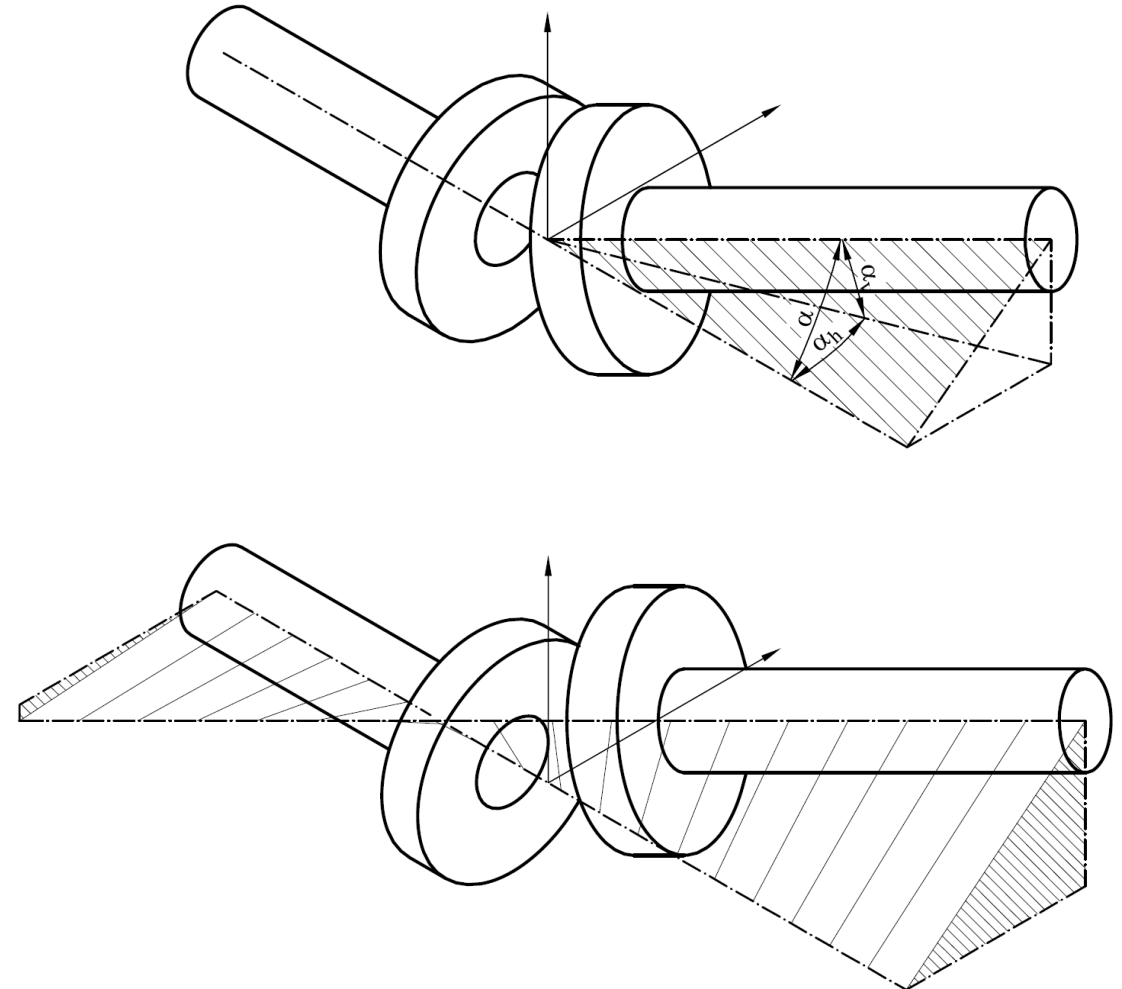
6.3 Alineación de ejes

- Tipos de desalineaciones en ejes.
 - El desplazamiento necesario en la parte móvil para alinear se descompone en horizontal y vertical: dos planos de alineación. La posición espacial de los ejes se proyecta sobre estos planos.
 - Alineación perfecta. Se da cuando los ejes coinciden en ambas proyecciones. No suele ocurrir en la práctica.
 - Desalineación paralela. Ejes paralelos, pero no coincidentes. Se cuantifica midiendo la distancia entre los ejes en cada plano.



6.3 Alineación de ejes

- Desalineación angular. Ejes no paralelos, pero se cortan en el punto medio entre los platos del acoplamiento. No hay, por tanto, desalineación paralela. El ángulo que forman los ejes se mide en ambos planos.
- Desalineación combinada. Es la más general. Se cuantifica, en cada plano, por la desalineación paralela, DP , distancia entre los ejes en el centro del acoplamiento, y por la desalineación angular, α , que es el ángulo que forman los ejes en el plano considerado.

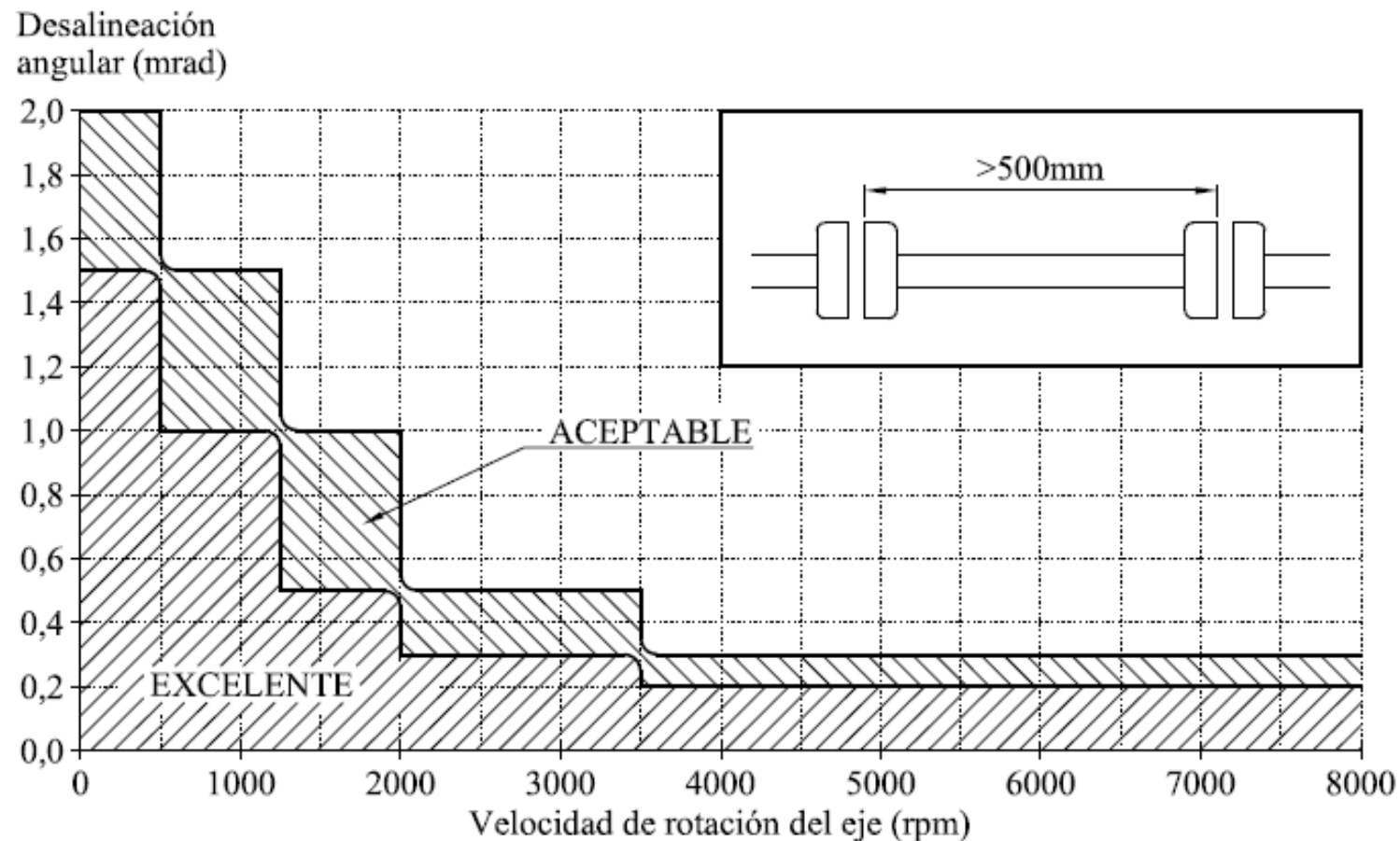


6.3 Alineación de ejes

- Tolerancias de desalineación.
 - Precisión limitada de los instrumentos de medida.
 - Flexibilidad de los elementos hace que se muevan durante el funcionamiento.
 - Para cada máquina hay un grado de desalineación aceptable.
 - Lo que se busca, por tanto, es la alineación óptima para la máquina: definir la tolerancia de desalineación. Lo mejor: información histórica de la máquina.
 - A mayor velocidad de rotación o potencia transmitida, menor tolerancia de desalineación.
 - No confundir la tolerancia del acoplamiento con la óptima para los ejes de las máquinas.

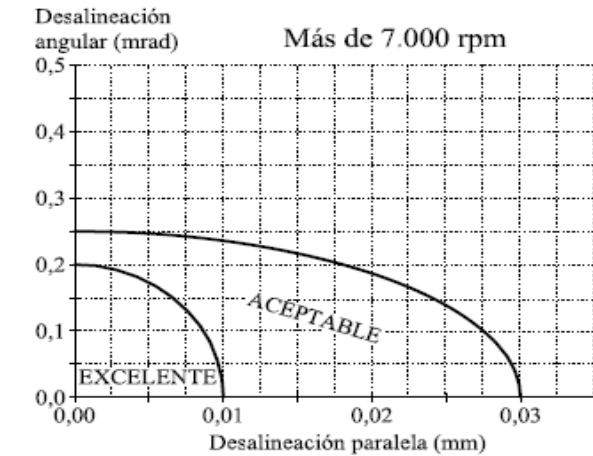
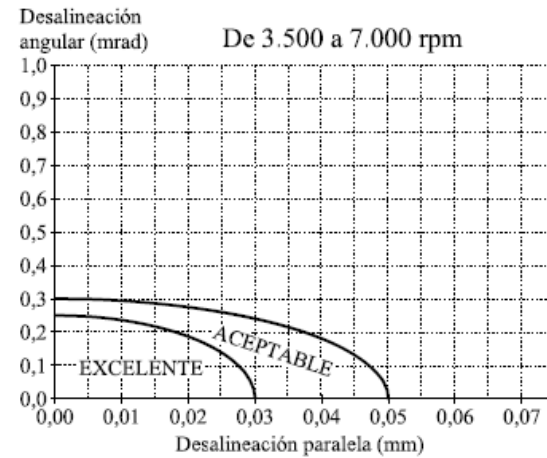
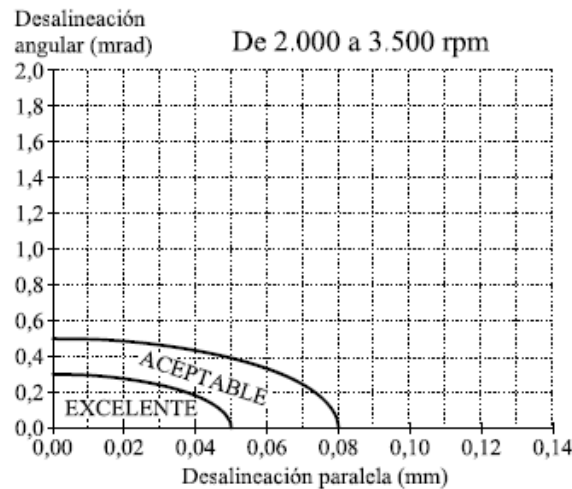
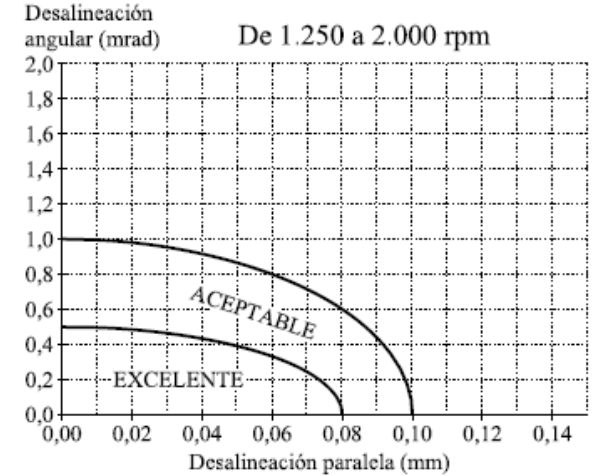
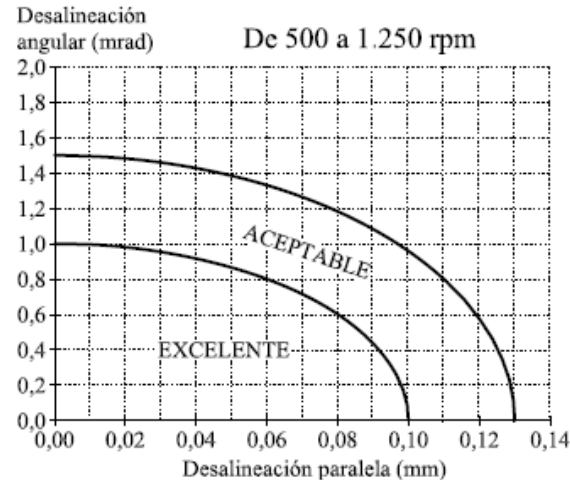
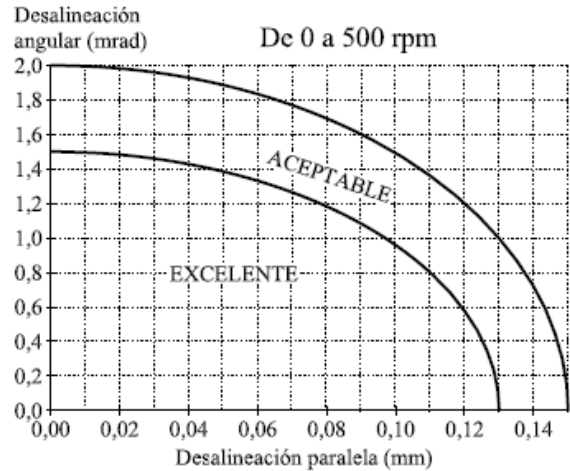
6.3 Alineación de ejes

- Criterio de CSI, fabricante de sistemas de alineación por láser, para acoplamientos con eje intermedio de más de 500 mm: sólo tol. angular.



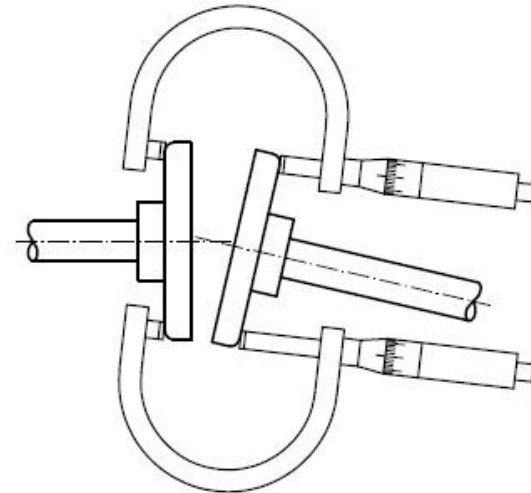
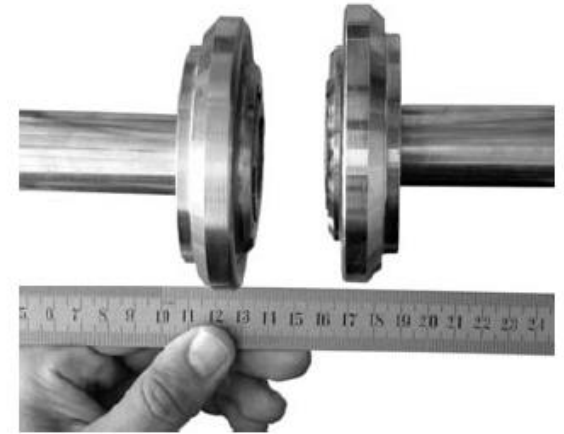
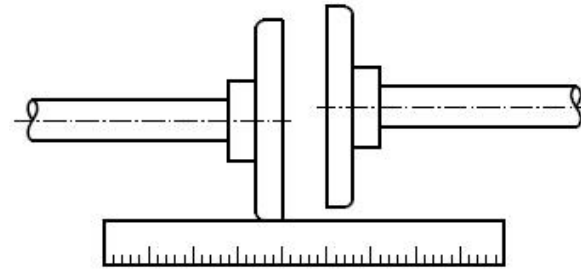
6.3 Alineación de ejes

- Criterio de CSI para resto de acoplamientos: tol. angular y paralela.



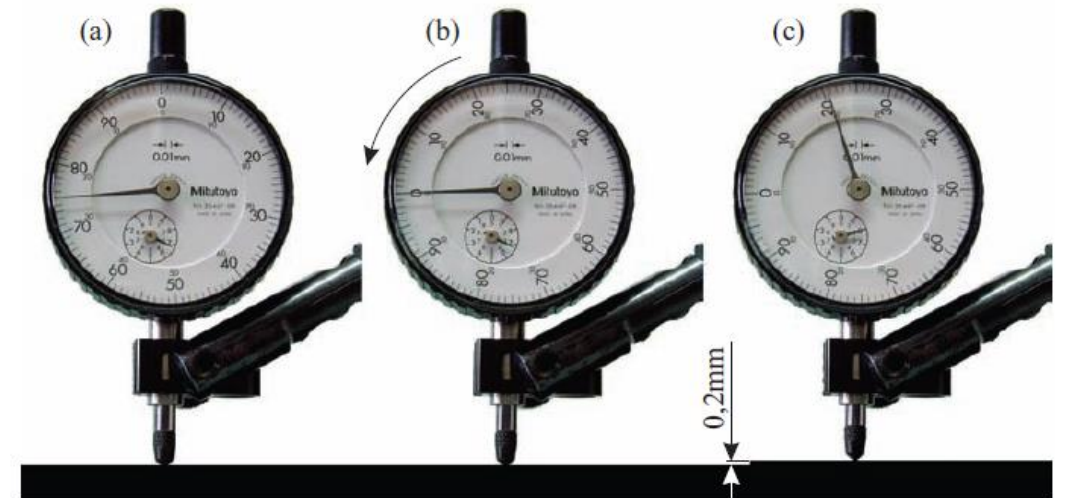
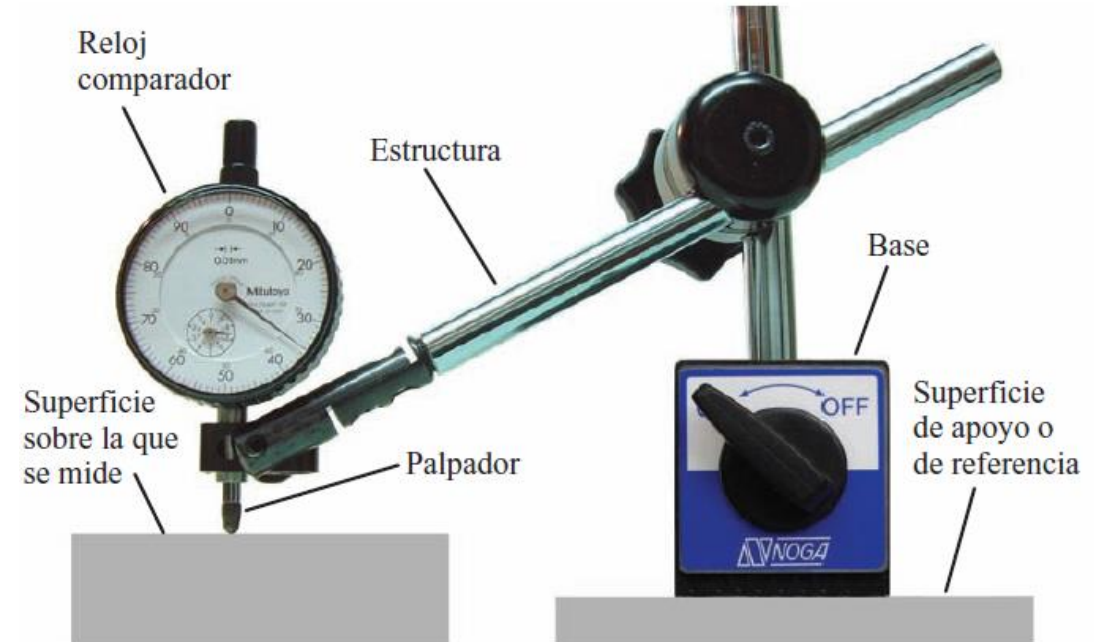
6.3 Alineación de ejes

- Diagnóstico de desalineación.
 - Con máquina en marcha: medida de la vibración (capítulo 8).
 - Con máquina parada: medición comparativa de distancias.
 - Desalineación paralela: regla en cara externa del acoplamiento, paralela a uno de los ejes (en cada plano).
 - Desalineación angular: medida con micrómetro (en cada plano).
 - Se trata de un método grosero para detectar la desalineación, no una medida para determinar los desplazamientos necesarios para la alineación.



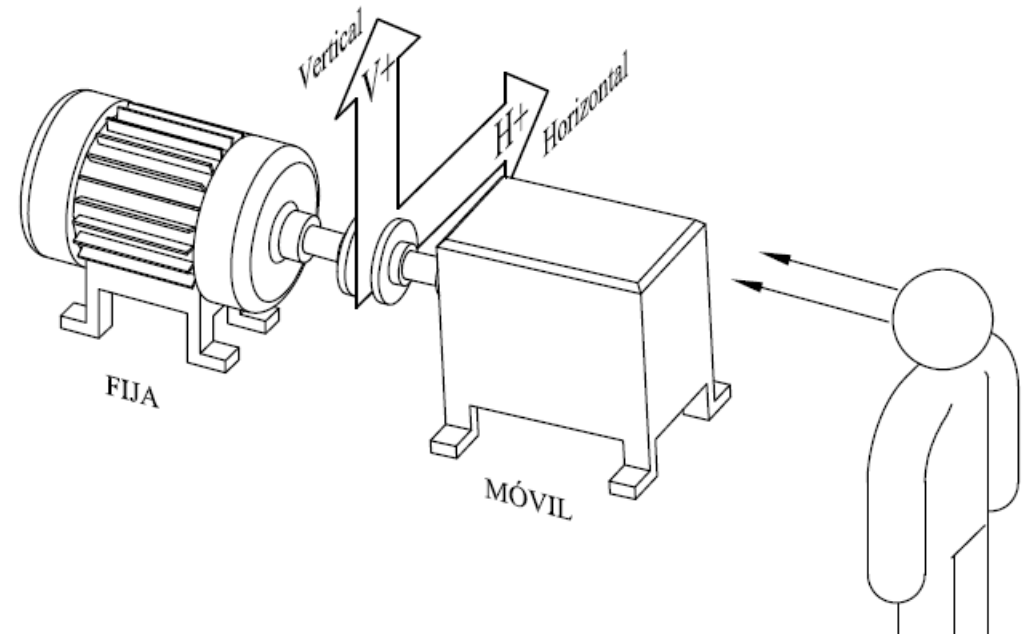
6.3 Alineación de ejes

- Cálculo de los desplazamientos para la alineación.
 - Se trata de obtener los desplazamientos a aplicar a cada pata de la parte móvil para conseguir una buena alineación.
 - Medida con comparadores.
 - Aguja pequeña: unidad mm.
 - Aguja grande: unidad 0.01 mm.
 - Útil para medir la variación de distancia entre dos superficies.
 - Girar corona exterior para ajustar el cero.
 - Palpador se mueve hacia reloj: signo +.



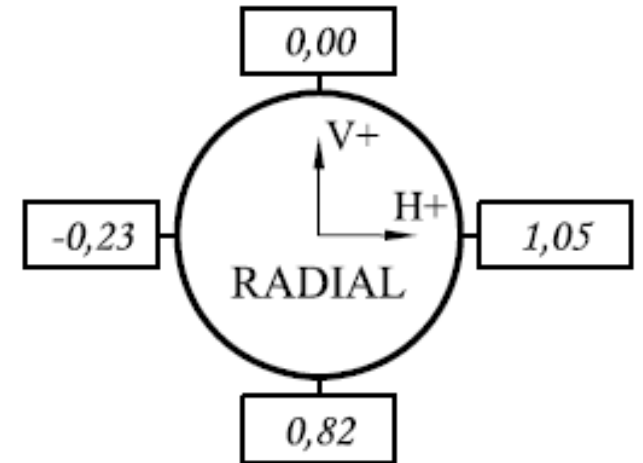
6.3 Alineación de ejes

- Criterio de signos e hipótesis de partida.
 - Criterio de signos de la figura.
 - Hipótesis de partida:
 - La desalineación angular de partida es pequeña (se ha alineado previamente de forma aproximada).
 - La parte móvil se desplaza perpendicularmente al eje de la parte fija.



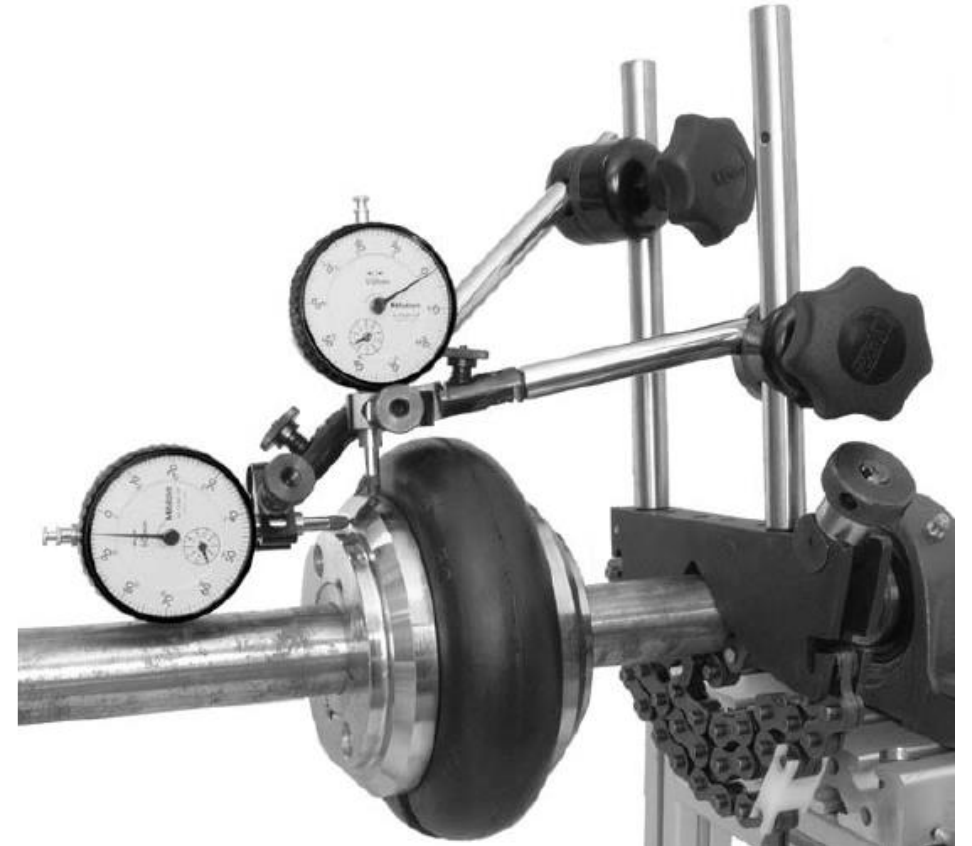
6.3 Alineación de ejes

- Medida de la desalineación.
 - Medida con comparadores.
 - Un comparador está fijo a una de las partes (por ejemplo, la móvil) y palpa la otra parte (por ejemplo, la fija).
 - Se toman datos en cuatro posiciones (figura): HP, HN, VP, VN.
 - Se suele poner a cero el comparador en vertical positiva: $VP=0$.
 - Se anotan las medidas (en mm) en un gráfico como el de la figura.
 - Dentro del círculo se anota el nombre del comparador.
 - Regla de la cruz: $VP + VN = HP + HN$. Si no se cumple, hay error en la medida: deformación en soporte de comparador, pérdida de contacto palpador-superficie, eje deformado o combado, holguras y roces al girar los ejes.
 - Medida con dispositivos láser.
 - El procedimiento depende del analizador y el programa informático. Los más sencillos toman también cuatro medidas: los inclinómetros proporcionan la inclinación exacta de los ejes.



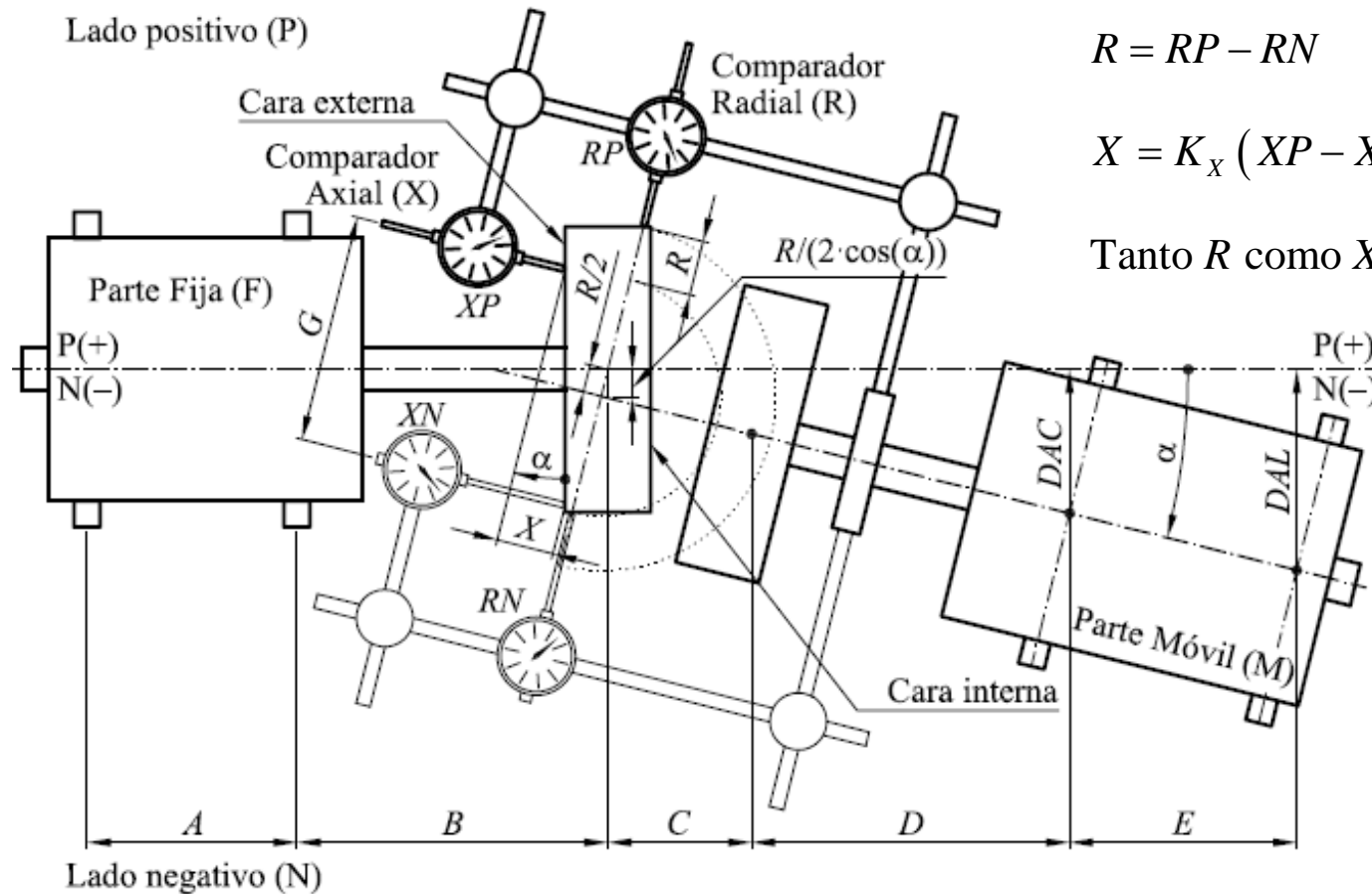
6.3 Alineación de ejes

- Método radial-axial.
 - Emplea dos relojes comparadores, fijos a una parte (móvil) y palpando en la otra en sentidos radial y axial.
 - Se pueden girar ambos ejes a la vez, o sólo el de la parte móvil.
 - Comparador radial: sobre la cara lateral del acoplamiento -> desalineación paralela.
 - Comparador axial: cara frontal externa o interna del acoplamiento -> desalineación angular.
 - Repetir en cada plano la operación siguiente.



6.3 Alineación de ejes

- Medidas comparador radial: RP y RN . Medidas comparador axial: XP , XN .
- Sin signo: A , B , C , D , E , G . Con signo: α , DAC , DAL .



$$R = RP - RN$$

$$X = K_x (XP - XN) \quad \text{con} \quad K_x = \begin{cases} 1 \text{ comp ax en cara externa} \\ -1 \text{ comp ax en cara interna} \end{cases}$$

Tanto R como X son positivos en la figura.

6.3 Alineación de ejes

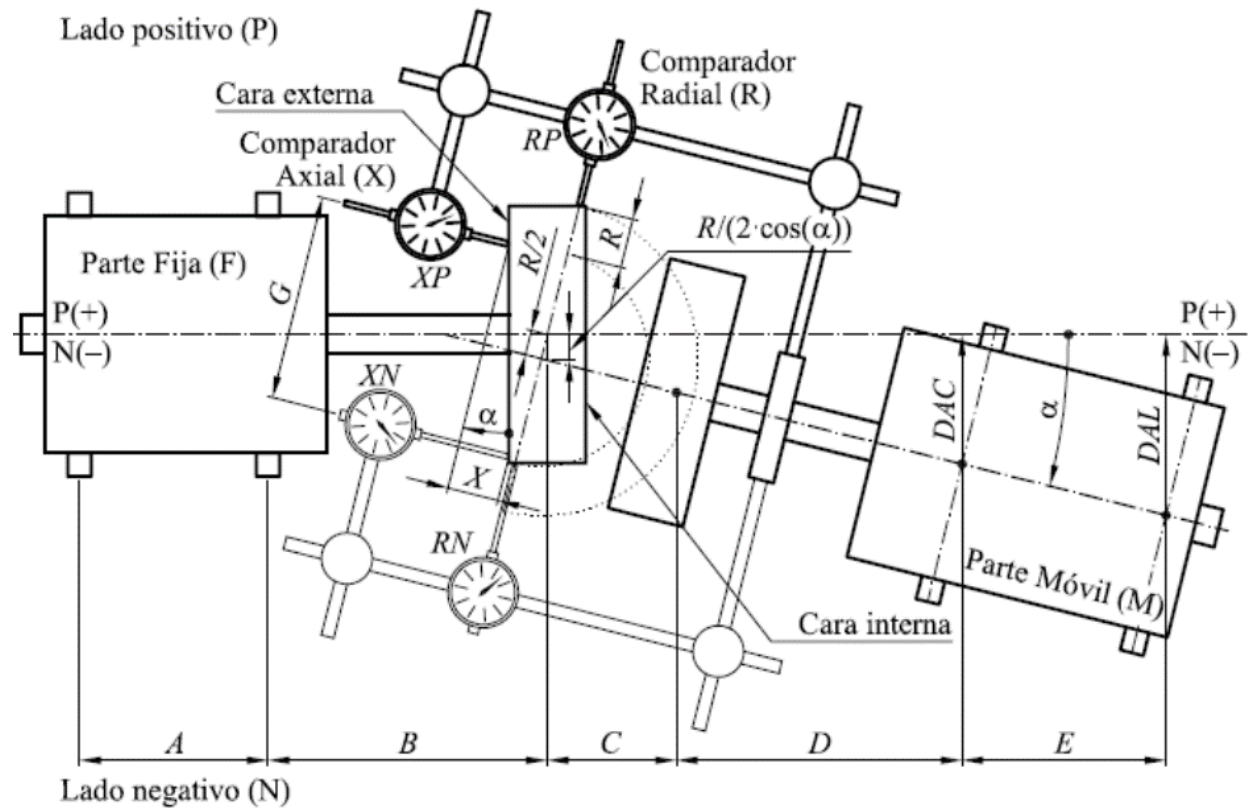
- Método analítico.

$$\tan \alpha = -\frac{X}{G}$$

$$DP = \frac{R}{2 \cos \alpha} - \frac{C}{2} \tan \alpha$$

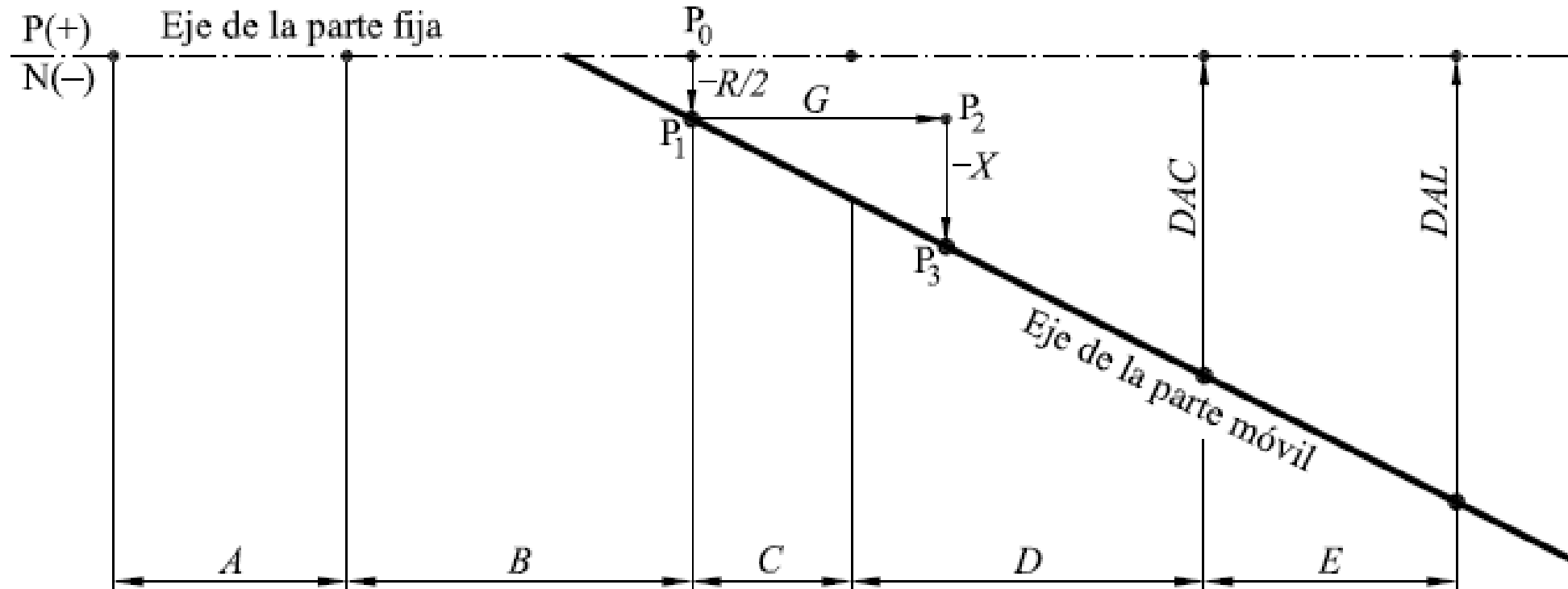
$$DAC = \frac{R}{2 \cos \alpha} - (C + D) \tan \alpha$$

$$DAL = \frac{R}{2 \cos \alpha} - (C + D + E) \tan \alpha$$



6.3 Alineación de ejes

- Método gráfico. Escalas distintas en horizontal (m) y vertical (mm).

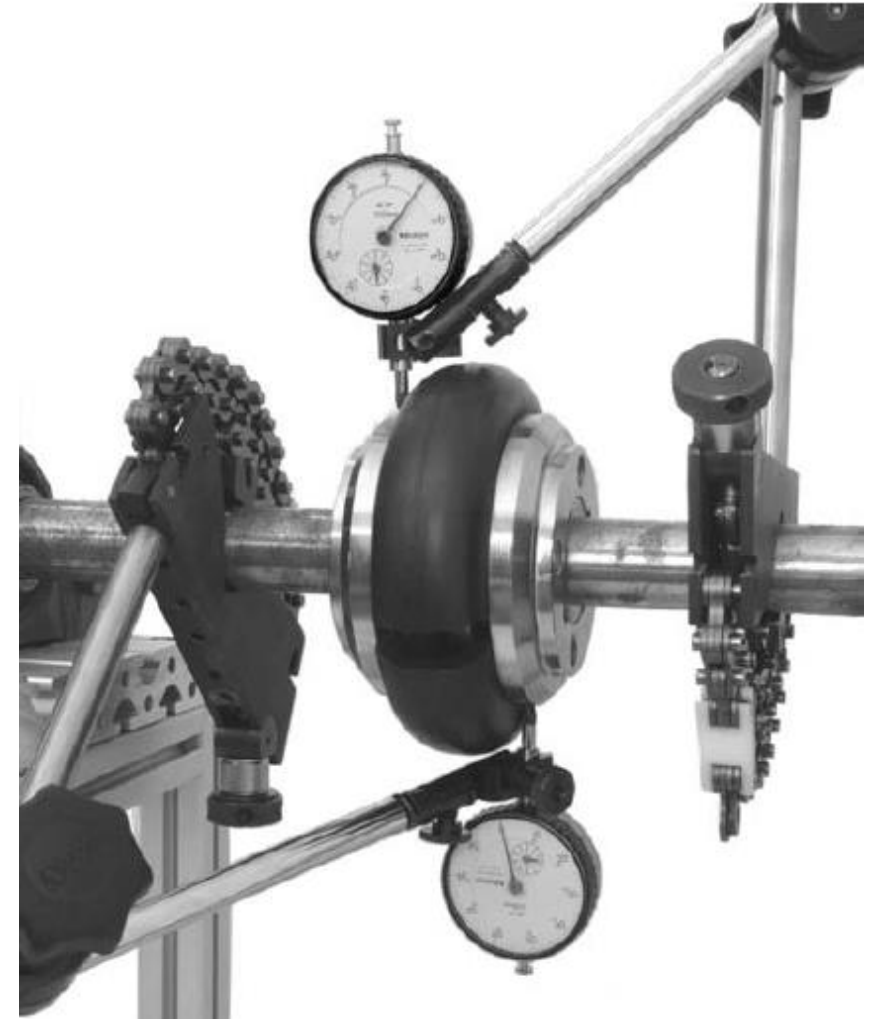


6.3 Alineación de ejes

- Desventajas del método radial-axial.
 - Excentricidad de la pared cilíndrica del acoplamiento respecto al eje si sólo gira la parte móvil.
 - Irregularidades en la cara axial donde apoya el comparador si sólo gira la parte móvil.
 - Holgura axial en los ejes debida a los apoyos (colocar topes axiales).
 - Espacio insuficiente para colocar el comparador axial.
 - Precisión peor a mayor distancia entre platos (C) y menor radio de éstos (G).
 - Posibles deformaciones de las barras soporte de los comparadores en acoplamientos con gran espacio intermedio.
- Sin embargo, se sigue empleando cuando:
 - Uno de los ejes no puede ser girado.
 - El espacio entre platos del acoplamiento es pequeño.
 - El diámetro de los platos es grande en relación al espacio intermedio.

6.3 Alineación de ejes

- Método de los comparadores alternados.
 - Cada comparador está fijo a una parte de la máquina: comparador F (parte fija), comparador M (parte móvil).
 - Ambos ejes se giran simultáneamente.
 - El método se aplica en cada plano.

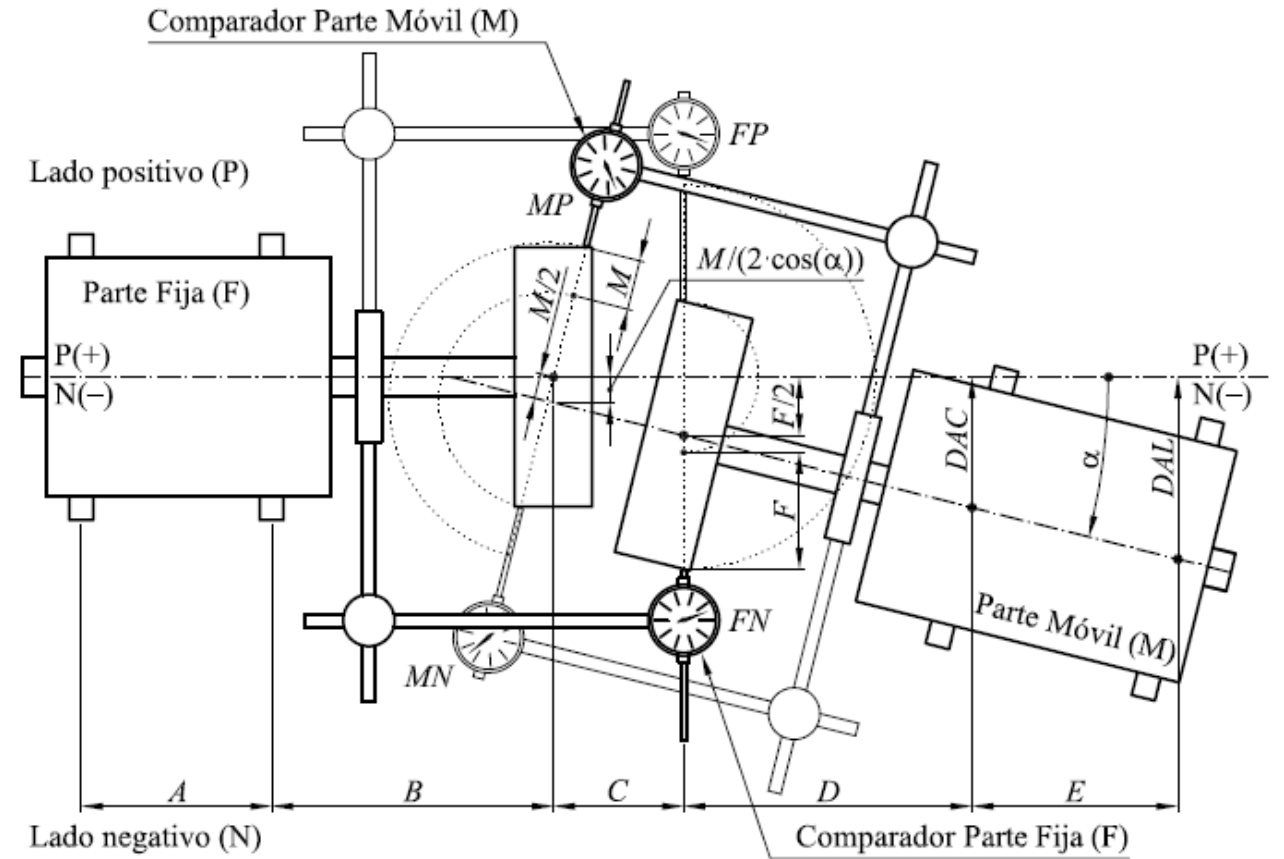


6.3 Alineación de ejes

- Medidas: FP , FN , MP , MN .

$F = FP - FN$ (negativo en la figura)

$M = MP - MN$ (positivo en la figura)



6.3 Alineación de ejes

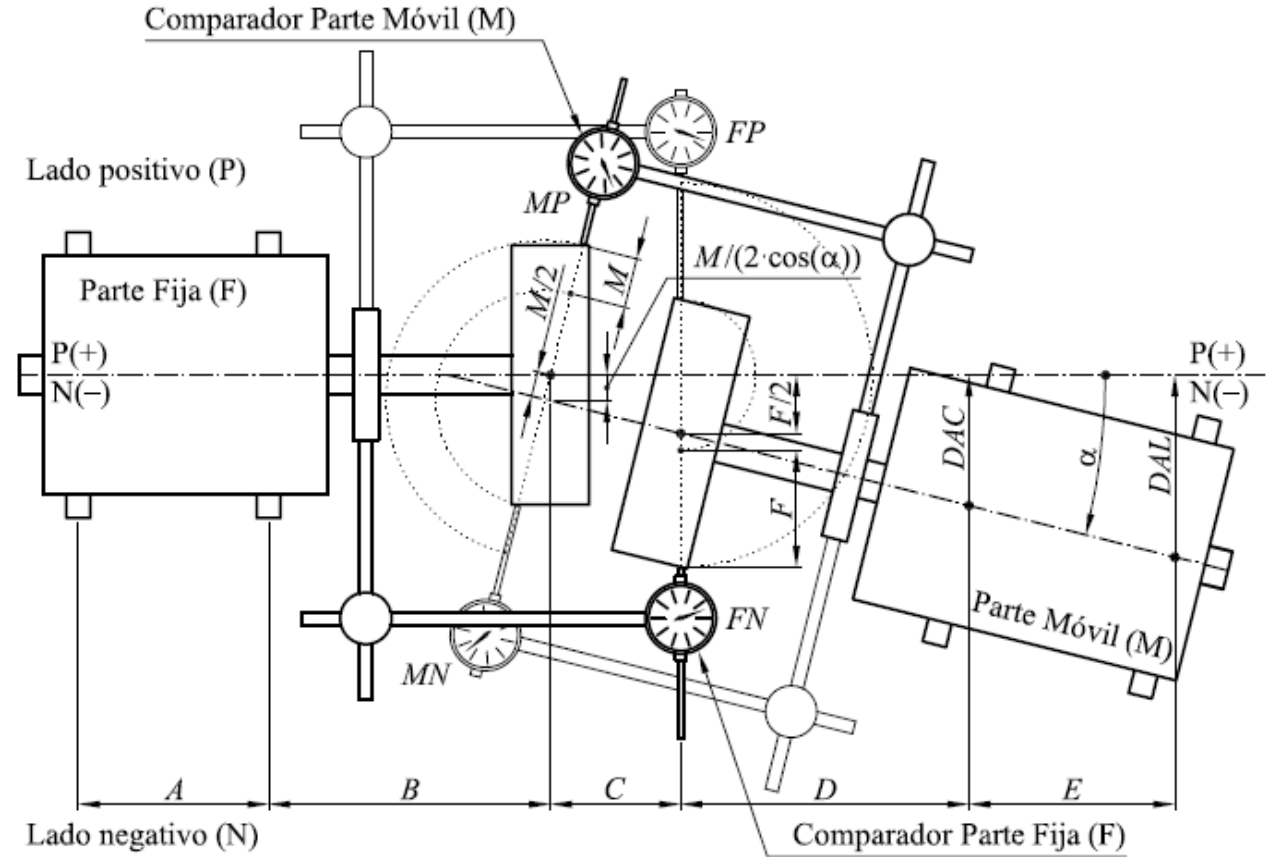
- Método analítico.

$$\tan \alpha = \frac{\frac{F}{2} + \frac{M}{2 \cos \alpha}}{C} \quad (\text{negativo en la figura})$$

$$DP = -\frac{F}{2} + \frac{C}{2} \tan \alpha$$

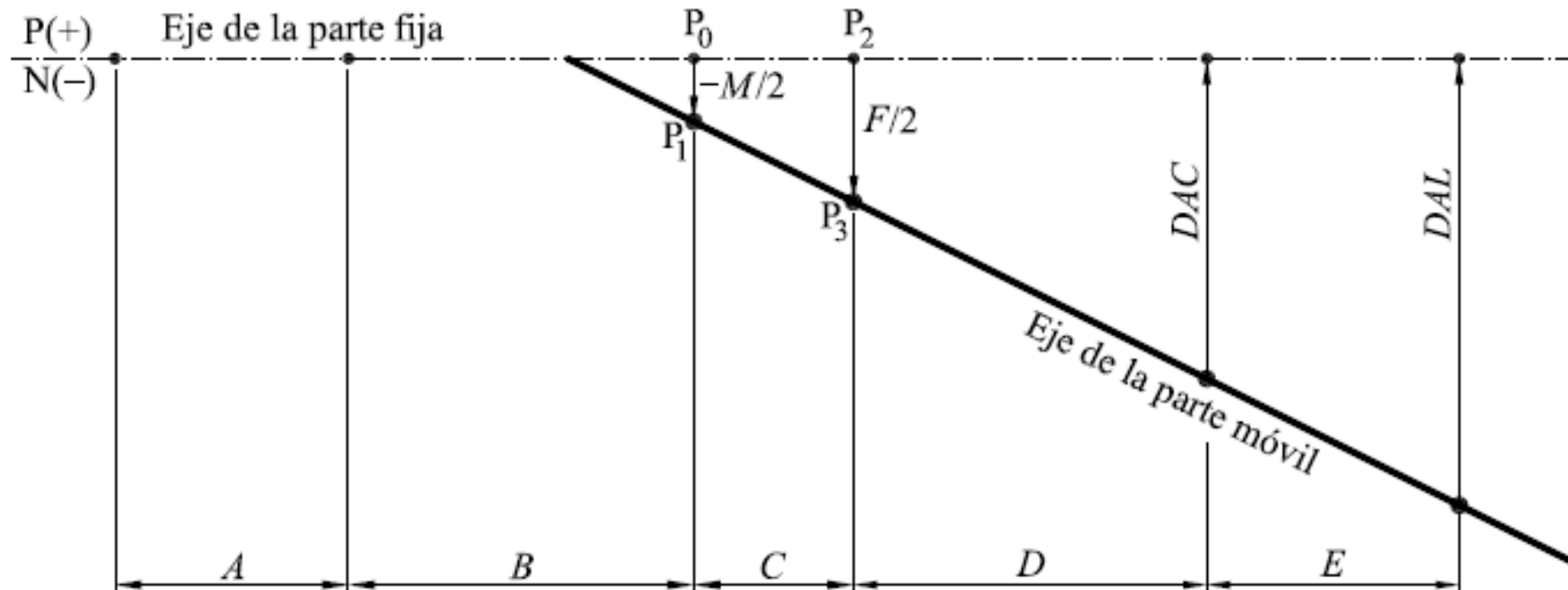
$$DAC = -\frac{F}{2} - D \tan \alpha$$

$$DAL = -\frac{F}{2} - (D + E) \tan \alpha$$



6.3 Alineación de ejes

- Método gráfico. Escalas distintas en horizontal (m) y vertical (mm).

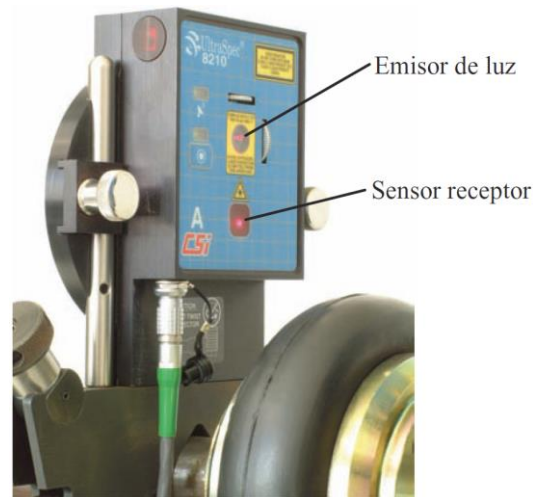


6.3 Alineación de ejes

- Ventajas del método de los comparadores alternados:
 - Buena precisión con platos pequeños.
 - No requiere el desmontaje del acoplamiento.
 - Al girar ambos ejes a la vez, la posible excentricidad de los platos no afecta a la medida.
 - La posible holgura axial apenas afecta a la medida.
 - Los desplazamientos están relacionados con las lecturas de los comparadores de forma intuitiva.
- Desventajas:
 - Se requiere poder girar los ejes de ambas máquinas.
 - Precisión menor en máquinas axialmente muy próximas y platos de gran diámetro.
 - No puede utilizarse en máquinas pequeñas con espacio insuficiente entre ellas.
 - Precisión menor en máquinas con platos grandes y gran distancia axial, por la longitud requerida en los brazos de los comparadores.
- Conclusión: el método radial-axial y de los comparadores alternados son complementarios.

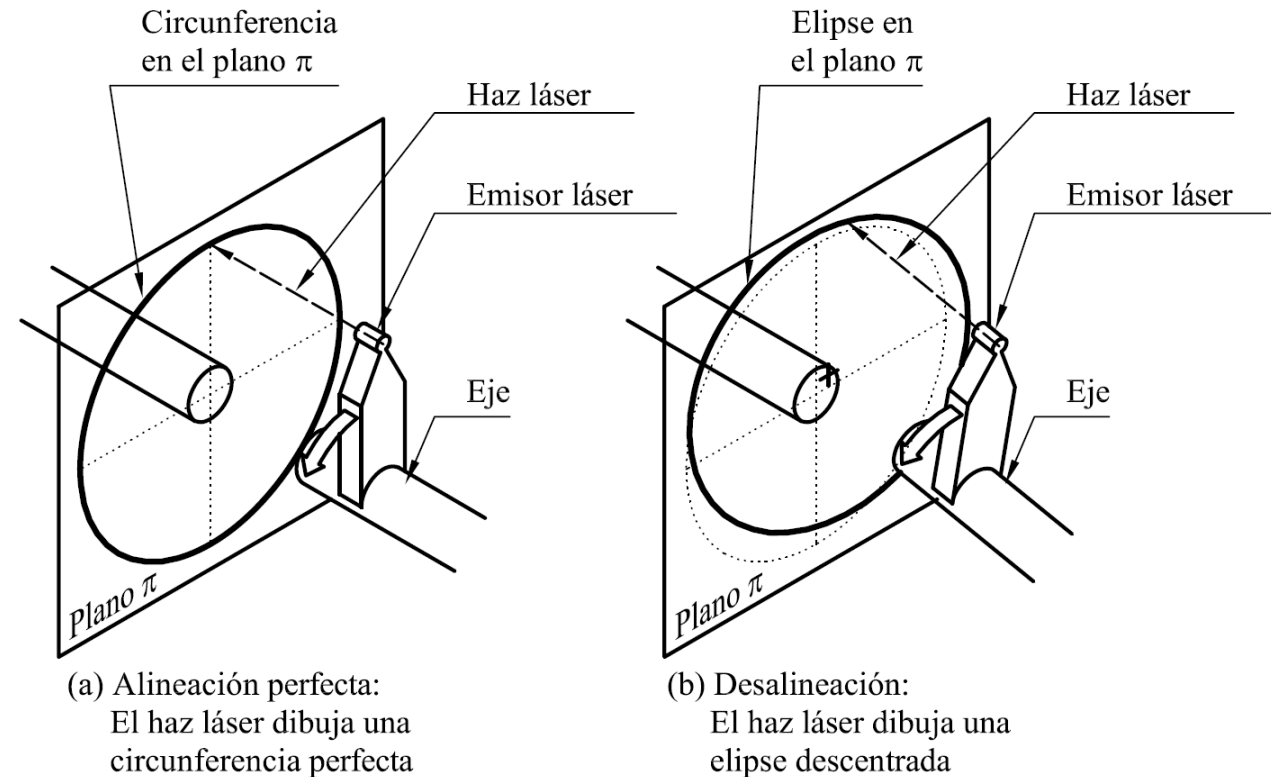
6.3 Alineación de ejes

- Método de alineación por láser.
 - Mismos principios que el método de los comparadores alternados, pero utilizando dispositivos láser en lugar de comparadores.
 - Estos dispositivos emiten un haz de luz láser, miden la posición de un haz incidente sobre ellos e incorporan un inclinómetro.
 - El montaje habitual es con dos dispositivos enfrentados, que envían las medidas a un analizador.



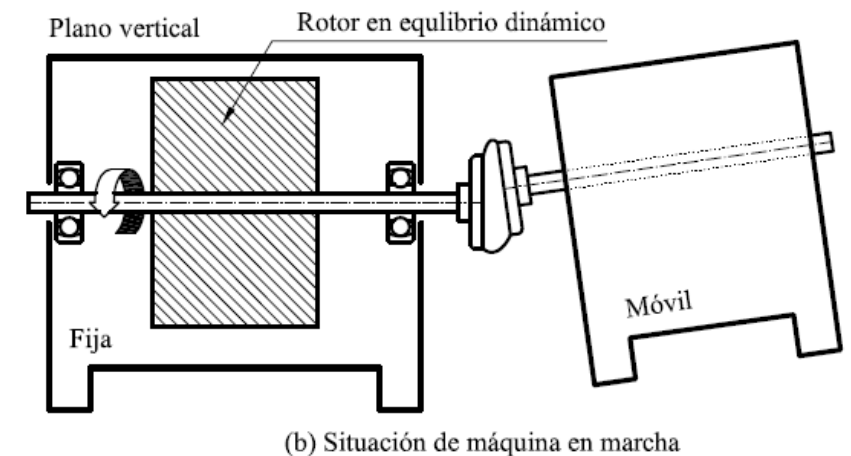
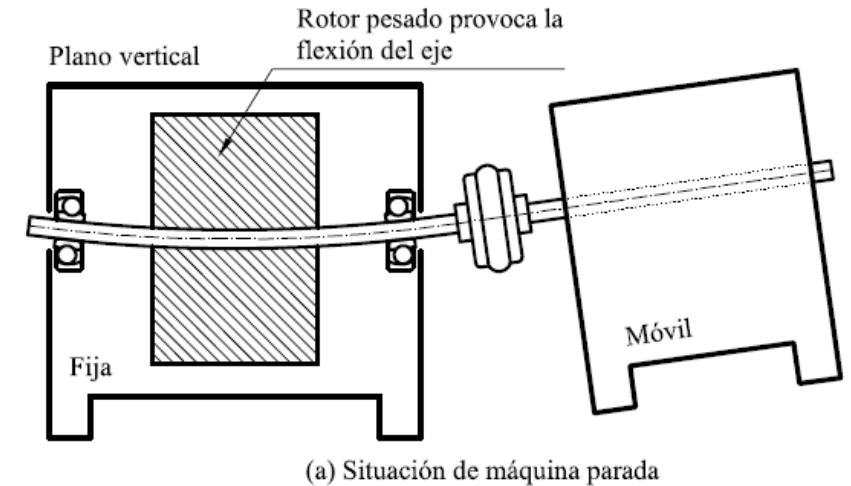
6.3 Alineación de ejes

- Método de alineación por láser.
 - Si los ejes están alineados, el haz dibuja una circunferencia en el otro dispositivo al girar. Si no lo están, dibuja una elipse (desalineación angular) descentrada (desalineación paralela).
 - Se realiza un análisis de los datos tomados al girar una vuelta los ejes.
 - Ventaja: mucha mayor precisión.
 - Inconveniente: depende de la transmisión del haz de luz láser. Ondas de calor, vapor, variaciones de temperatura, luz solar intensa, polvo, pueden provocar imprecisión.



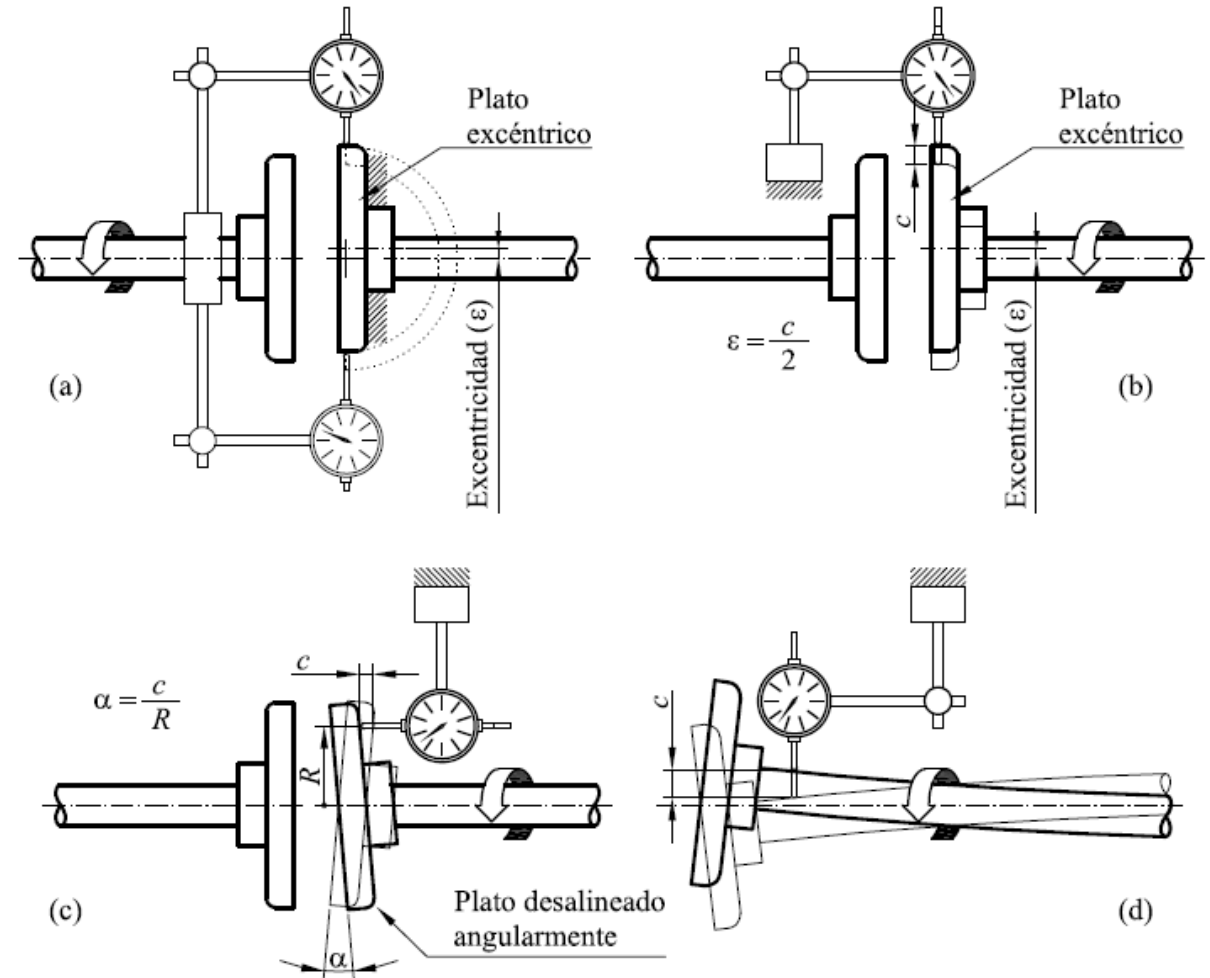
6.3 Alineación de ejes

- Consideraciones previas a la alineación de ejes.
 - Configuración de la máquina. Determinar puntos de apoyo y decidir parte fija y móvil.
 - Estado de la estructura de la máquina. Posibles daños o grietas que causen pérdidas de rigidez. Reparar antes de alinear.
 - Tipo de máquina y configuración de los apoyos. Con cojinetes, la posición del eje en marcha es diferente a la de reposo. Tenerlo en cuenta al alinear.
 - Acoplamiento. Inspeccionarlo antes de alinear.



6.3 Alineación de ejes

- Consideraciones previas a la alineación de ejes.
 - Defecto geométrico en ejes y acoplamiento (*runout*). Falta de coincidencia entre eje geométrico de rotación de la máquina y eje del plato del acoplamiento. Detectar tomando medidas con base en la bancada u otro elemento fijo.



6.3 Alineación de ejes

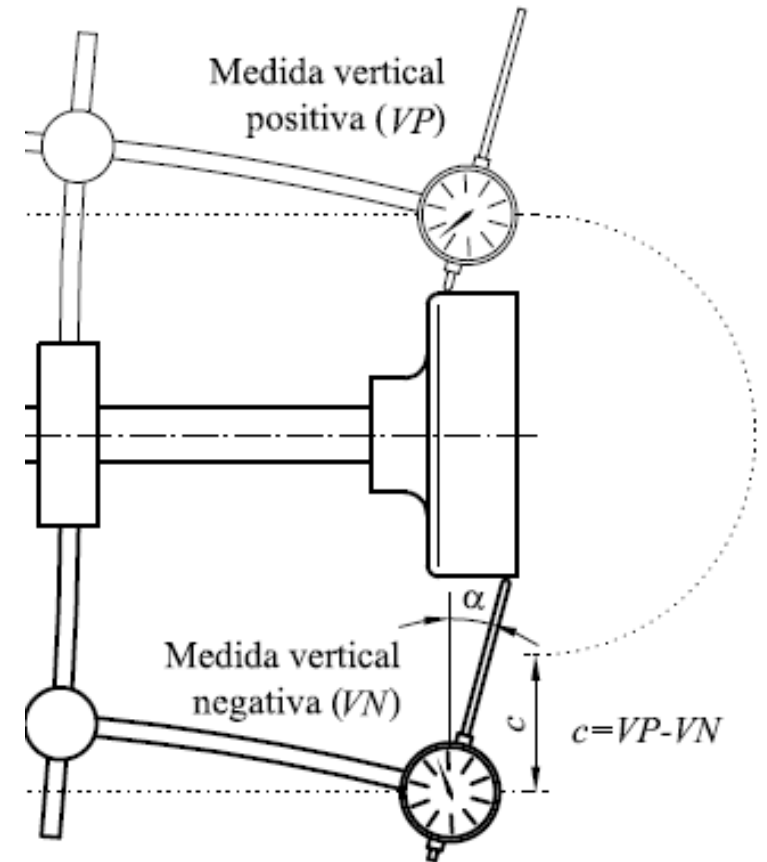
- Consideraciones previas a la alineación de ejes.
 - Juego radial, axial y torsional. Puede deberse a los apoyos o al acoplamiento. Radial es el más problemático. Presión con gato hidráulico para axial, cinta adhesiva de tela entre platos para torsión.
 - Temperatura. La dilatación por aumento de temperatura cuando la máquina esta en marcha puede modificar la posición relativa de los elementos. Tratar de alinear justo tras parar la máquina.
 - Instalaciones. Todas las conducciones (electricidad, lubricante, aire comprimido, gas, agua, etc.) han de estar conectadas y con su presión habitual (aunque las válvulas de entrada estén cerradas).
 - Cimentación y apoyos. Pernos de amarre. Limpieza. Verificación de pata falsa o pata coja.

6.3 Alineación de ejes

- Consideraciones previas a la alineación de ejes.
 - Deformación de los soportes de los relojes comparadores.
 - Se puede detectar midiendo con base en el eje y apoyando sobre el plato del mismo.
 - Posteriormente, las medidas verticales deberán ser corregidas para tener en cuenta el error.

$$VP = VP_0 - \varepsilon$$

$$VN = VN_0 + \varepsilon$$



$$\varepsilon = \frac{c}{2} = \frac{VP - VN}{2}$$

6.3 Alineación de ejes

- Procedimiento de alineación.
 - Con dispositivos láser hacen falta menos precauciones.
 - En el caso de utilización de comparadores.
 - Asegurar que se dispone de todo lo necesario antes de comenzar: galgas de espesor calibrado, calces para maquinaria, regla, cinta métrica, calibres, comparadores con sus soportes, calculadora, material de escritura, herramientas para tuercas y pernos, cepillo metálico y lija para limpieza de óxidos y rebabas, cinta adhesiva de tela, elementos para desplazar la máquina (gatos hidráulicos), etc.
 - Seguir procedimiento previstos paso a paso, rellenando los formularios existentes al efecto.

1. DATOS DE LA MÁQUINA

Estación: _____

Máquina: _____

Velocidad de rotación: _____

Parte fija: _____

Parte móvil: _____

2. DATOS DE LA OPERACIÓN

Operador: _____

Fecha: _____

Hora de comienzo: _____

Método de alineación: _____

3. ESTADO DE LA MÁQUINA Y CONDICIONES PARA LA ALINEACIÓN

Cimentación y apoyos

— Tipo de cimentación: _____

— Estado de la cimentación (losa): _____

— Estado de los pernos de amarre: _____

Estructura de la máquina

— Existencia de grietas: _____

— Existencia de daños estructurales: _____

— Existencia de deterioro superficial: _____

— Buena rigidez en general: _____

Tipos de apoyos del eje fijo

— Cercano: _____

— Lejano: _____

Tipos de apoyos del eje fijo

— Cercano: _____

— Lejano: _____

Acoplamiento

— Tipo de acoplamiento: _____

— Rigidez radial (alta/media/baja): _____

— Rigidez axial (alta/media/baja): _____

— Rigidez torsional (alta/media/baja): _____

— Buen estado superficial: _____

— Se puede mantener acoplado durante la medición: _____

Defecto geométrico en ejes y platos del acoplamiento

— Parte fija

— Eje combado: _____

— Plato excéntrico: _____

— Plato con desalineac. angular: _____

— Parte móvil

— Eje combado: _____

— Plato excéntrico: _____

— Plato con desalineac. angular: _____

3. ESTADO DE LA MÁQUINA Y CONDICIONES PARA LA ALINEACIÓN (cont.)

Holguras en los ejes (juegos)

- Existencia de holgura axial: _____ Corrección: _____
- Existencia de holgura radial: _____ Corrección: _____
- Existencia de holgura torsional: _____ Corrección: _____

Efecto de la temperatura

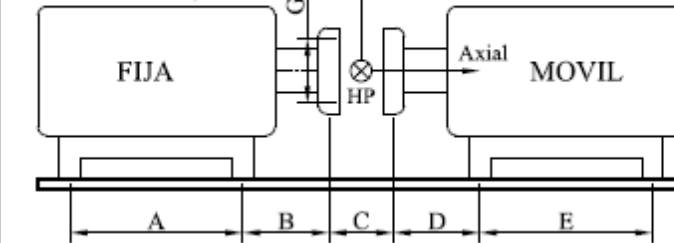
- Existe una diferencia notable de temperatura entre reposo y marcha: _____
- Se prevé que la diferencia de temperatura pueda afectar a la posición de los ejes: _____
- La alineación se realiza en caliente: _____
- Tiempo desde la parada de la máquina hasta la medición: _____

Instalaciones conectadas a la máquina

- Instalaciones más importantes: _____
- _____
- Las inst. pueden cargar significativamente la estructura de la máquina: _____
- Las instalaciones están conectadas a la máquina: _____

4. DIMENSIONES

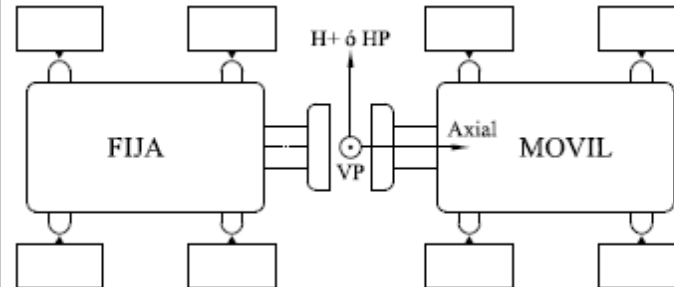
(la dirección horizontal positiva HP es hacia adentro)



- A = _____
- B = _____
- C = _____
- D = _____
- E = _____
- G = _____

(G sólo es aplicable al método radial-axial y representa el diámetro de rotación del palpador axial)

5. CORRECCIÓN DE PATAS FALSAS

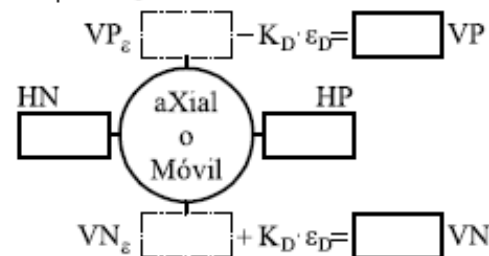
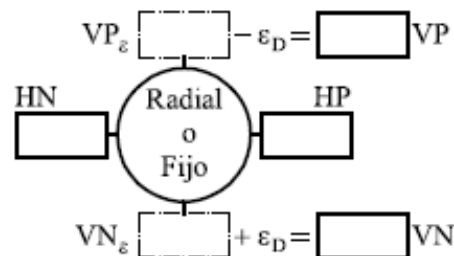


6. DEFORMACIÓN EN SOPORTES DE COMPARADORES

(no aplicable a comparadores axiales)

	Comp. radial o fijo	Comp. radial móvil
Medida VP		
Medida VN		
Dif = VP-VN		
Error $\epsilon_D = Dif/2$		

7. MEDIDA DE LA DESALINEACIÓN



Comprobación de la regla de la cruz
 (las sumas horizontales y verticales, con signo, deben ser iguales para cada comparador)

$HP+HN = \left[\quad \right] \quad VP+VN = \left[\quad \right] \quad HP+HN = \left[\quad \right] \quad VP+VN = \left[\quad \right]$

Medida diferencial de los comparadores

Medida del comparador Radial / Fijo:

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Horizontal: } R_H \text{ ó } F_H = HP - HN = \underline{\hspace{2cm}} \\ \text{Vertical: } R_V \text{ ó } F_V = VP - VN = \underline{\hspace{2cm}} \end{array} \right.$

Medida del comparador aXial / Móvil:

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Horizontal: } X_H \text{ ó } M_H = K_X \cdot (HP - HN) = \underline{\hspace{2cm}} \\ \text{Vertical: } X_V \text{ ó } M_V = K_X \cdot (VP - VN) = \underline{\hspace{2cm}} \end{array} \right.$

(Factor K_X : $K_X = -1$ si el comparador es axial y está situado en la cara interna del plato. En cualquier otro caso [comparador axial en cara externa o comparador radial Móvil], $K_X = 1$)

8. COMPROBACIÓN DEL ESTADO DE ALINEACIÓN

Método Radial-aXial

Plano Horizontal (subíndice H)

$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_H \text{ (rad)} = \left| \frac{X_H}{G} \right| = \underline{\hspace{2cm}} \\ DP_H = \left| \frac{R_H}{2} + \frac{C \cdot X_H}{2G} \right| = \underline{\hspace{2cm}} \end{array} \right.$

Estado de alineación:

Inaceptable Aceptable Excelente

Plano Vertical (subíndice V)

$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_V \text{ (rad)} = \left| \frac{X_V}{G} \right| = \underline{\hspace{2cm}} \\ DP_V = \left| \frac{R_V}{2} + \frac{C \cdot X_V}{2G} \right| = \underline{\hspace{2cm}} \end{array} \right.$

Estado de alineación:

Inaceptable Aceptable Excelente

Método de los comparadores alternados

Plano Horizontal (subíndice H)

$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_H \text{ (rad)} = \left| \frac{M_H + F_H}{2C} \right| = \underline{\hspace{2cm}} \\ DP_H = \left| \frac{M_H - F_H}{4} \right| = \underline{\hspace{2cm}} \end{array} \right.$

Estado de alineación:

Inaceptable Aceptable Excelente

Plano Vertical (subíndice V)

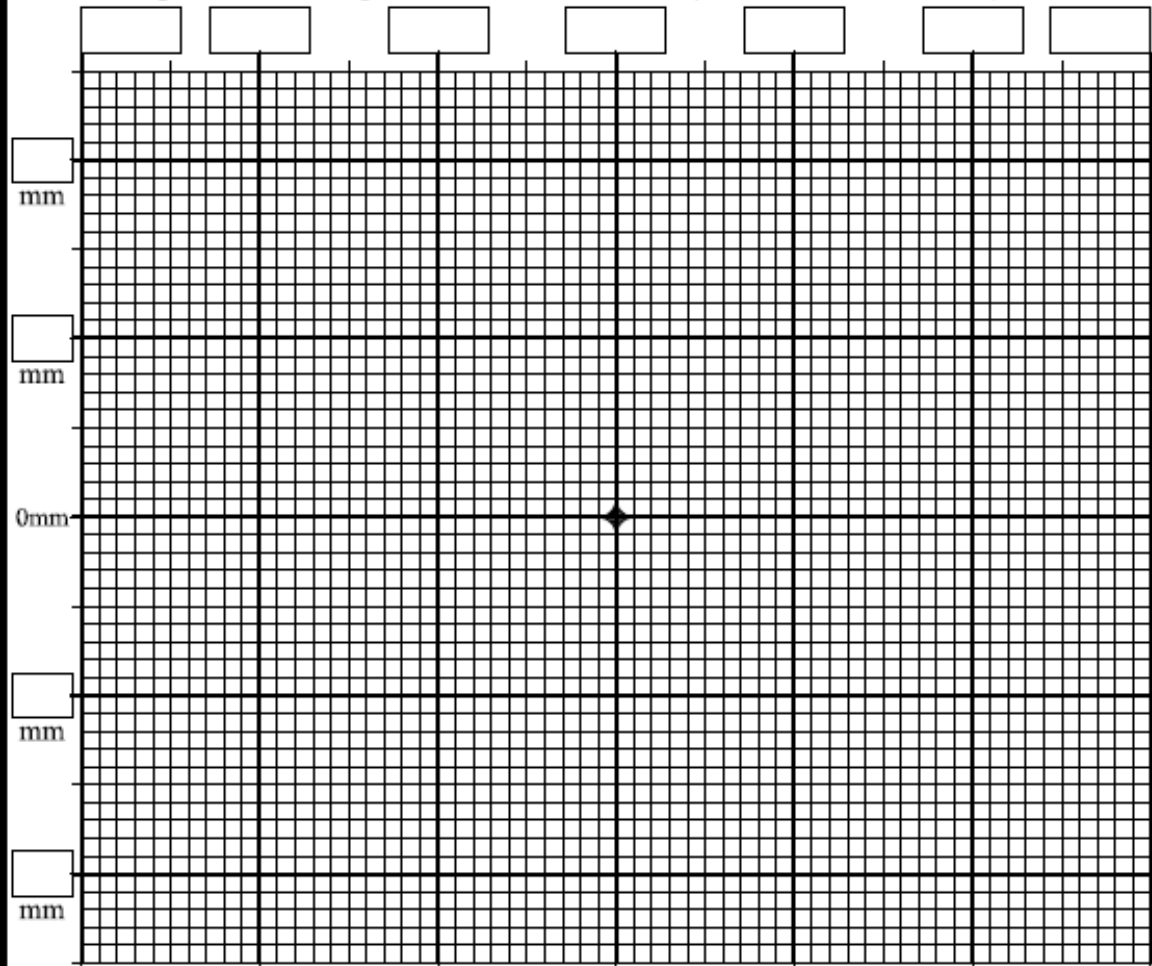
$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_V \text{ (rad)} = \left| \frac{M_V + F_V}{2C} \right| = \underline{\hspace{2cm}} \\ DP_V = \left| \frac{M_V - F_V}{4} \right| = \underline{\hspace{2cm}} \end{array} \right.$

Estado de alineación:

Inaceptable Aceptable Excelente

9. OBTENCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS DE ALINEACIÓN (PLANO HORIZONTAL)

Obtención gráfica de los desplazamientos de alineación (PLANO HORIZONTAL)



Cálculo analítico de los desplazamientos de alineación (PLANO HORIZONTAL)

Método Radial-aXial

└ Plano Horizontal (subíndice H)

$$\begin{cases} DAC_H = \frac{R_H}{2} + (C+D) \cdot \frac{X_H}{G} = \text{_____} \\ DAL_H = \frac{R_H}{2} + (C+D+E) \cdot \frac{X_H}{G} = \text{_____} \end{cases}$$

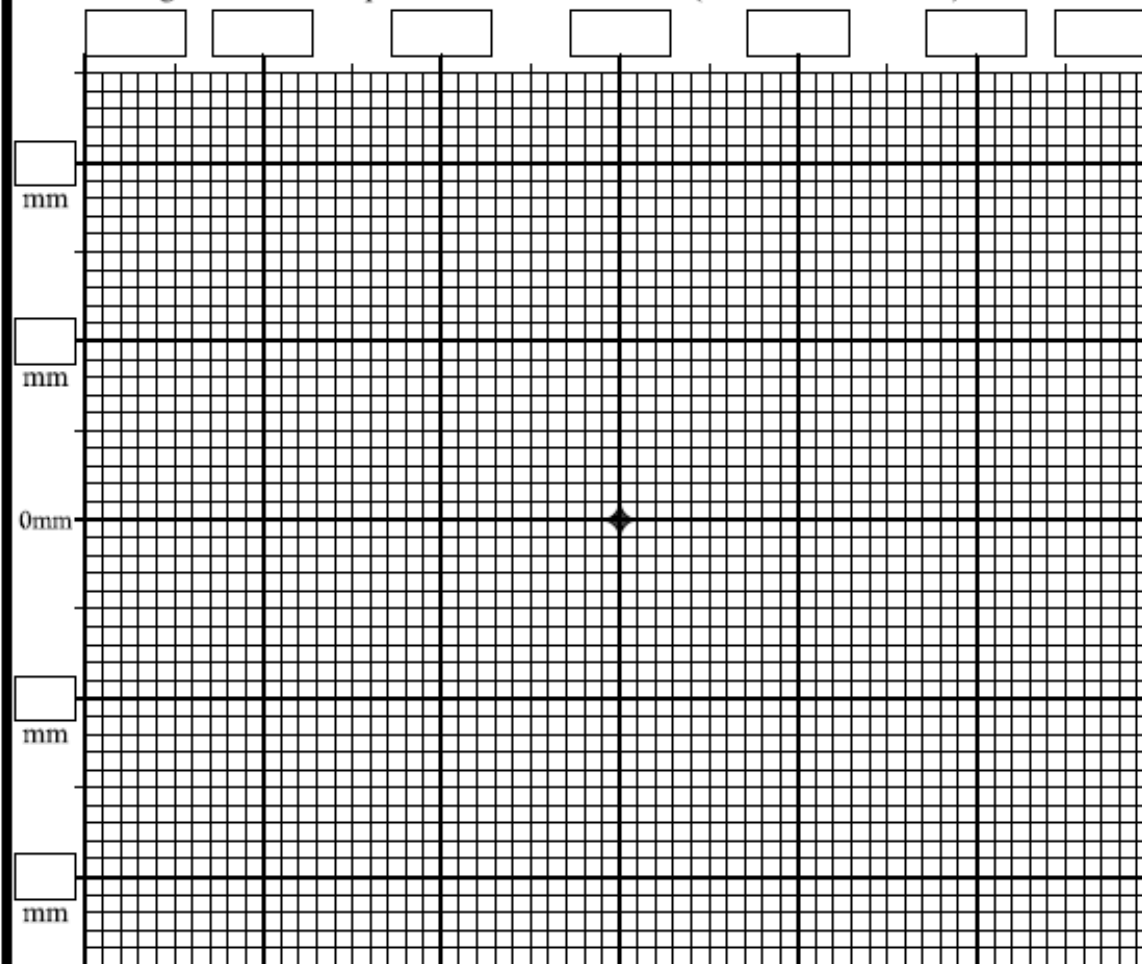
Método de los comparadores alternados

└ Plano Horizontal (subíndice H)

$$\begin{cases} DAC_H = \frac{-F_H}{2} - D \cdot \frac{M_H + F_H}{2C} = \text{_____} \\ DAL_H = \frac{-F_H}{2} - (D+E) \cdot \frac{M_H + F_H}{2C} = \text{_____} \end{cases}$$

9. OBTENCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS DE ALINEACIÓN (PLANO VERTICAL)

Obtención gráfica de los desplazamientos de alineación (PLANO VERTICAL)



Cálculo analítico de los desplazamientos de alineación (PLANO VERTICAL)

Método Radial-aXial

└ Plano Vertical (subíndice V)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{DAC}_V = \frac{R_V}{2} + (C+D) \frac{X_V}{G} = \underline{\hspace{2cm}} \\ \text{DAL}_V = \frac{R_V}{2} + (C+D+E) \frac{X_V}{G} = \underline{\hspace{2cm}} \end{array} \right.$$

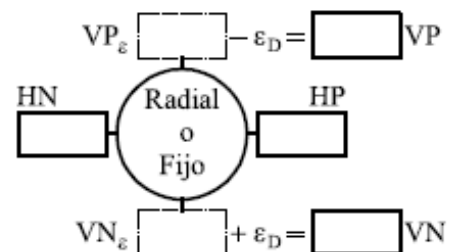
Método de los comparadores alternados

└ Plano Vertical (subíndice V)

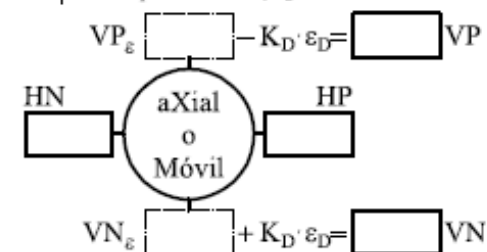
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{DAC}_V = \frac{-F_V}{2} - D \frac{M_V + F_V}{2C} = \underline{\hspace{2cm}} \\ \text{DAL}_V = \frac{-F_V}{2} - (D+E) \frac{M_V + F_V}{2C} = \underline{\hspace{2cm}} \end{array} \right.$$

10. COMPROBACIÓN DEL ESTADO DE ALINEACIÓN FINAL

Medida de la desalineación



Factor K_D : si el comparador es radial, $K_D = 1$
 si el comparador es axial, $K_D = 0$ $K_D = \underline{\hspace{2cm}}$



Comprobación de la regla de la cruz

(las sumas horizontales y verticales, con signo, deben ser iguales para cada comparador)

HP+HN= VP+VN= HP+HN= VP+VN=

Medida diferencial de los comparadores

Medida del comparador Radial / Fijo:

Horizontal: R_H ó $F_H = HP - HN = \underline{\hspace{2cm}}$
 Vertical: R_V ó $F_V = VP - VN = \underline{\hspace{2cm}}$

Medida del comparador aXial / Móvil:

Horizontal: X_H ó $M_H = K_X \cdot (HP - HN) = \underline{\hspace{2cm}}$
 Vertical: X_V ó $M_V = K_X \cdot (VP - VN) = \underline{\hspace{2cm}}$

(Factor K_X : $K_X = -1$ si el comparador es axial y está situado en la cara interna del plato. En cualquier otro caso [comparador axial en cara externa o comparador radial Móvil], $K_X = 1$)

Comprobación del estado de alineación

Método Radial-aXial

Plano Horizontal (subíndice H)

α_H (rad) = $\left| \frac{X_H}{G} \right| = \underline{\hspace{2cm}}$

$DP_H = \left| \frac{R_H}{2} + \frac{C \cdot X_H}{2G} \right| = \underline{\hspace{2cm}}$

Estado de alineación:

Inaceptable Aceptable Excelente

Plano Vertical (subíndice V)

α_V (rad) = $\left| \frac{X_V}{G} \right| = \underline{\hspace{2cm}}$

$DP_V = \left| \frac{R_V}{2} + \frac{C \cdot X_V}{2G} \right| = \underline{\hspace{2cm}}$

Estado de alineación:

Inaceptable Aceptable Excelente

Método de los comparadores alternados

Plano Horizontal (subíndice H)

α_H (rad) = $\left| \frac{M_H + F_H}{2C} \right| = \underline{\hspace{2cm}}$

$DP_H = \left| \frac{M_H - F_H}{4} \right| = \underline{\hspace{2cm}}$

Estado de alineación:

Inaceptable Aceptable Excelente

Plano Vertical (subíndice V)

α_V (rad) = $\left| \frac{M_V + F_V}{2C} \right| = \underline{\hspace{2cm}}$

$DP_V = \left| \frac{M_V - F_V}{4} \right| = \underline{\hspace{2cm}}$

Estado de alineación:

Inaceptable Aceptable Excelente