MECÁNICA DEL CONTACTO · CONTACTO PUNTUAL Y LINEAL · PICADO · DOCUMENTO DE REFERENCIA · PÚBLICO

Tensión de contacto de Hertz

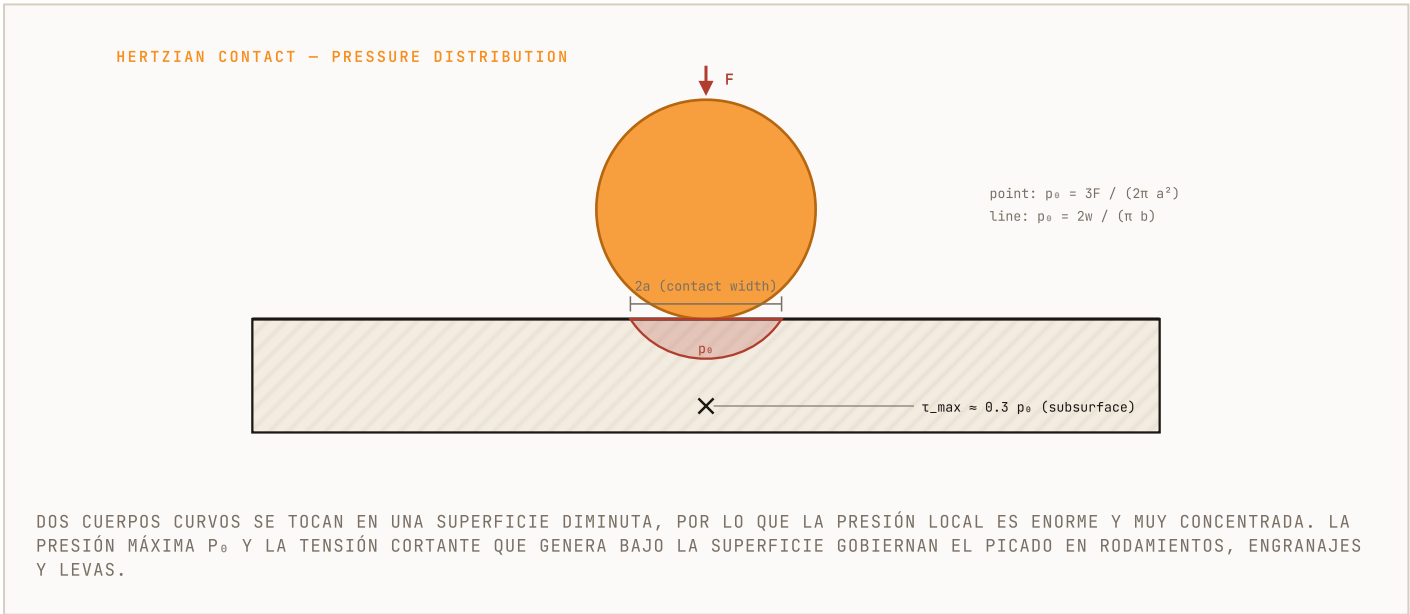
La tensión de contacto entre cuerpos curvos: fórmulas de contacto puntual y lineal, módulo y radio equivalentes, la tensión cortante subsuperficial que provoca el picado y los valores admisibles.

REVISIÓN	PUBLICADO	RESPONSABLE	COMPLEMENTO
1.0	June 2026	Ingeniería Ideambox	Referencia en PDF

RESUMEN

Cuando dos cuerpos curvos entran en contacto (una bola sobre su pista, un diente sobre su conjugado, una leva sobre su seguidor, una rueda sobre el carril), lo hacen sobre un área muy pequeña, de modo que la tensión local (hertziana) es muy superior a la que sugiere la carga nominal. La presión de contacto máxima y la tensión cortante que produce justo bajo la superficie son las que limitan los contactos de rodadura.

La sección 1 explica el contacto de Hertz. La sección 2 trata el contacto puntual (esferas/bolas). La sección 3 trata el contacto lineal (cilindros/rodillos). La sección 4 presenta el módulo y el radio equivalentes. La sección 5 trata la tensión cortante subsuperficial y la tensión admisible. La sección 6 recoge notas de diseño y una lista de comprobación.



DOS CUERPOS CURVOS SE TOCAN EN UNA SUPERFICIE DIMINUTA, POR LO QUE LA PRESIÓN LOCAL ES ENORME Y MUY CONCENTRADA. LA PRESIÓN MÁXIMA P_0 Y LA TENSIÓN CORTANTE QUE GENERA BAJO LA SUPERFICIE GOBIERNAN EL PICADO EN RODAMIENTOS, ENGRANAJES Y LEVAS.

ÍNDICE

1. Qué es el contacto de Hertz
2. Contacto puntual (esferas / bolas)
3. Contacto lineal (cilindros / rodillos)
4. Módulo y radio equivalentes
5. Cortante subsuperficial y tensión admisible
6. Notas de diseño y lista de comprobación

1. Qué es el contacto de Hertz

Dos superficies curvas no conformes presionadas entre sí se deforman elásticamente hasta formar una pequeña zona de contacto: un círculo (contacto puntual) o una banda estrecha (contacto lineal). En esa zona la presión se distribuye de forma **semielíptica**, con su máximo $\mathbf{p_0}$ en el centro. Como el área es diminuta, p_0 es muy elevada, y la tensión cortante máxima se sitúa algo **por debajo** de la superficie, que es donde se inicia la fatiga por contacto de rodadura (picado/desconchado).

p_0	Presión de contacto máxima (en el centro): el valor que se comprueba
`Contacto puntual`	Bola sobre plano / bola en pista / esfera sobre esfera → zona circular de radio a
`Contacto lineal`	Cilindro sobre plano / rodillo en pista → banda de semiancho b, carga por unidad de longitud w
`E*`	Módulo equivalente (reducido) que combina la elasticidad de ambos cuerpos
`R*`	Radio equivalente (relativo) que combina las curvaturas de ambos cuerpos

2. Contacto puntual (esferas / bolas)

Para dos esferas (o una bola sobre un plano, $R_2 \to \infty$):

- Radio de contacto $a = (3\ F\ R^*\ /\ 4\ E^*)^{1/3}$
- Presión máxima $p_0 = 3\ F\ /\ (2\ \pi\ a^2)$ (= 1.5 × la presión media)

p_0 solo crece con la **raíz cúbica** de la carga, de modo que duplicar la carga eleva la presión máxima ~26 %; en cambio, crece rápidamente al reducirse el radio, y por eso las bolas pequeñas y los bombeados pronunciados están muy solicitados.

3. Contacto lineal (cilindros / rodillos)

Para dos cilindros paralelos con una carga por unidad de longitud `w = F / L`:

- Semiancho de contacto `b = √(4 w R* / (π E*))`
- Presión máxima $p_0 = 2\ w / (\pi\ b) = \sqrt{(w\ E^* / (\pi\ R^*))}$

El contacto lineal reparte la carga a lo largo del rodillo, por lo que, para la misma carga total, da una p_o menor que el contacto puntual: por eso los rodamientos de rodillos soportan más que los de bolas del mismo tamaño. Atención a la **carga en los bordes**: la desalineación concentra w en los extremos del rodillo, y por eso los rodillos se bombean.

4. Módulo y radio equivalentes

Ambos cuerpos comparten la deformación, que se combina así:

- $1/E^* = (1 - \nu_1^2)/E_1 + (1 - \nu_2^2)/E_2$
- $1/R^* = 1/R_1 \pm 1/R_2$

  se usa **+** para dos superficies convexas y **−** para un cuerpo convexo dentro de uno cóncavo (una bola en su pista), lo que hace R* grande y reduce la tensión.

Así, una bola alojada en la garganta conforme de una pista está mucho menos solicitada que la misma bola sobre un plano. Acero sobre acero: $E^* \approx 113$ GPa ($E = 207$ GPa, $\nu = 0.3$ cada uno).

5. Cortante subsuperficial y tensión admisible

- La **tensión cortante máxima** es ≈ **0.30 · p_0** y se sitúa a unos **0.48 a** (puntual) o **0.78 b** (lineal) bajo la superficie. Las grietas de fatiga por rodadura nacen ahí y progresan hacia la superficie en forma de picaduras.
- **Límite estático (brinelling):** la indentación permanente empieza hacia p_0 ≈ 4000–4200 MPa en acero de rodamientos templado; es la base de la capacidad de carga estática C_0.
- **Límite cíclico (picado):** mucho más bajo; los flancos cementados de engranajes y las pistas de rodamientos se diseñan normalmente a ~1300–1700 MPa de tensión de contacto para vida larga (según ISO 6336 / vida L10 de rodamientos).

SITUACIÓN	LÍMITE ORIENTATIVO DE P_0
Acero de rodamientos templado, estático (brinelling)	~4000–4200 MPa
Flanco de engranaje cementado, vida larga	~1300–1700 MPa
Acero templado en masa, número moderado de ciclos	~1000–1400 MPa

Valores orientativos: para la vida real, utilizar ISO 6336 (engranajes) o la capacidad L10 de los rodamientos.

6. Notas de diseño y lista de comprobación

- **Reducir p_o** aumentando el radio equivalente (bombeado, gargantas conformes), pasando a contacto lineal o disminuyendo la carga.
- **Elevar el límite** con un acero más duro y más limpio (cementación, pocas inclusiones) y una buena película de aceite EHL (una película completa prolonga enormemente la vida frente al picado).
- **Cuidar la limpieza subsuperficial**: las inclusiones situadas a la profundidad del cortante máximo son núcleos de grieta; por eso los aceros de rodamientos se desgasifican al vacío.
- **Lista de comprobación:** obtener E* y R* → calcular a/b y p_o (puntual o lineal) → comparar con el límite estático (brinelling) y con el límite cíclico (picado) para el material y la vida requerida → si es elevada, añadir bombeado/conformidad, endurecer o mejorar la lubricación. Se complementa con las referencias de
  Rodamientos
  ,
  Engranajes
  y
  Fatiga
  .

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/es/downloads/hertz-contact-stress/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact