



Universidad
Carlos III de Madrid

DISEÑO MECÁNICO

RODAMIENTOS

- **NORMALIZACIÓN DE LOS RODAMIENTOS**
- **CINEMÁTICA**
- **DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN EL RODAMIENTO**



TIPO

RODAMIENTOS DE BOLAS

1 FILA

2 FILAS

2 FILAS A
RÓTULA

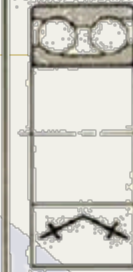
2 FILAS A
RÓTULA

1 FILA
CONTACTO
ANGULAR

2 FILAS
CONTACTO
ANGULAR

Representación
completa

Representación
simplificada



ANILLO
CÓNICO

TIPO

RODAMIENTOS DE RODILLOS CILÍNDRICOS

ROD. DE
RODILLOS
CÓNICOS

ROD. DE
RODILLOS
ESFÉRICOS

N

NU

NJ

RNU

Representación
completa

Representación
simplificada



TIPO

RODAMIENTOS AXIALES

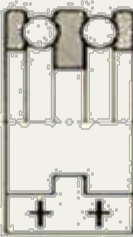
BOLAS
EFECTO
SIMPLE

BOLAS
EFECTO
DOBLE

RODILLOS
ESFÉRICOS
A RÓTULA

Representación
completa

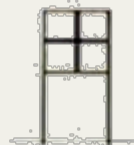
Representación
simplificada



REPRESENTACIÓN SIMPLIFICADA GENERAL

RODAMIENTOS

RETENES



REPRESENTACIÓN SIMPLIFICADA DE LOS RODAMIENTOS



NORMALIZACIÓN DE RODAMIENTOS



- ❑ Los rodamientos son creados por fabricantes muy especializados, con tipos muy concretos, fuertemente normalizados.
- ❑ Las normas más importantes son las ISO, DIN y AFBMA.
- ❑ Las normalizaciones se refieren a las medidas externas:
 - ❑ Diámetros de anillo interior/externo.
 - ❑ Ancho.
 - ❑ Radios de acuerdo.
 - ❑ Tolerancias dimensionales, ...
- ❑ Los elementos rodantes NO están normalizados: para un mismo diámetro de agujero (diámetro del eje o árbol donde va embutido el rodamiento), hay varios rodamientos con diferentes capacidades de carga: con distinto número y tamaño de elementos rodantes.
- ❑ Se denomina **serie de rodamientos** al grupo de rodamientos que presentan un mismo diámetro de agujero y diferentes capacidades de carga. Hay series: extra-ligera, ligera, media, pesada, ...



NORMALIZACIÓN



Los rodamientos se designan por un código de letras y números:

- La primera cifra (**1**) designa el tipo de cojinete (de ranura profunda, de bolas de contacto angular, de rodillos cilíndricos, etc.).
- La segunda cifra (**2**) indica la serie de anchos.
- El tercer número (**3**) muestra la serie de diámetros.
- Los dos últimas cifras (**45**) son el número característico del agujero que define el diámetro:

12345

- Multiplicando dicha cifra por 5 (en el intervalo 20-480 mm.).
- Para un diámetro superior a 480 mm. se indica directamente la cifra:
 - El rodamiento **23996 MB** tiene un diámetro de agujero de 480 mm.
 - El rodamiento **239/500 MB** tiene un agujero de 500 mm.
- Si el rodamiento tiene un agujero de diámetro inferior a 20 mm. se nombran:

Diámetro del agujero (mm.)	10	12	15	17
Número de serie	00	01	02	03

- A veces, la cifra completa va precedida o seguida de letras que se usan para indicar alguna característica especial del rodamiento: tener una ranura circular de sujeción, una jaula de poliamida, una tapa de protección, etc.

NORMALIZACIÓN DE RODAMIENTOS

EJEMPLO

Serie del rodamiento:
613

Serie de dimensiones:
13

Tipo de rodamiento:
Rod. radial de bolas

Diámetro del agujero
 $24 \times 5 = 120$ mm.

Serie de anchos:
1

Serie de diámetros:
3

6 1 3 2 4



CINEMÁTICA DE LOS RODAMIENTOS



Los rodamientos presentan relaciones cinemáticas complicadas:

- ❑ “Spinning” y efectos giroscópicos en los rodamientos de bolas.
- ❑ Desalineación e inclinación en los rodamientos de rodillos.
- ❑ En los rodamientos de bolas de contacto angular, el ángulo de contacto que forma la bola con la pista interior varía respecto al ángulo que forma con la pista exterior.

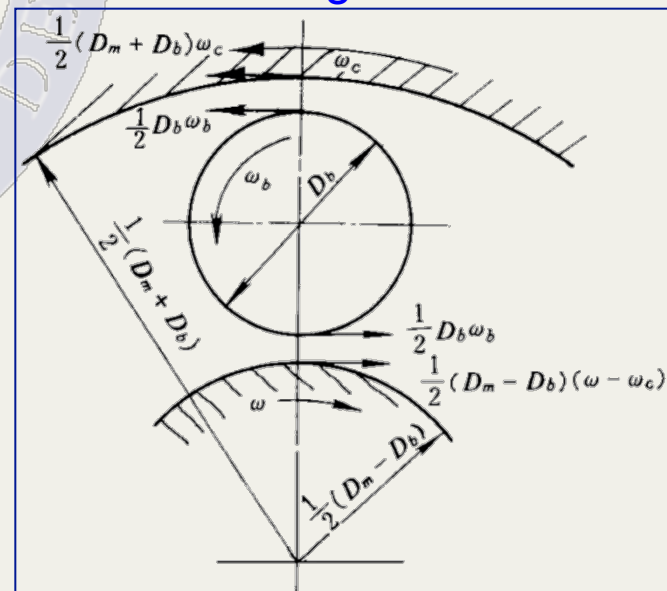


Hipótesis de trabajo.

- ❑ Los elementos rodantes son rígidos, se omite la deformación de contacto (se excluye la influencia de la carga).
- ❑ No se considera la holgura radial.
- ❑ Se ignora el efecto “película” de la lubricación.
- ❑ Los elementos rodantes presentan rodadura pura, sin deslizamientos.
- ❑ Se considera que el movimiento se desarrolla en el plano radial.



Caso general



CINEMÁTICA

CASO DEL ANILLO EXTERIOR FIJO

$$\omega_{31} = \omega_{21} + \omega_{32}$$

$$V_P = \omega_{21} \cdot (2 \cdot r_2) = \omega_{31} \cdot r_3$$

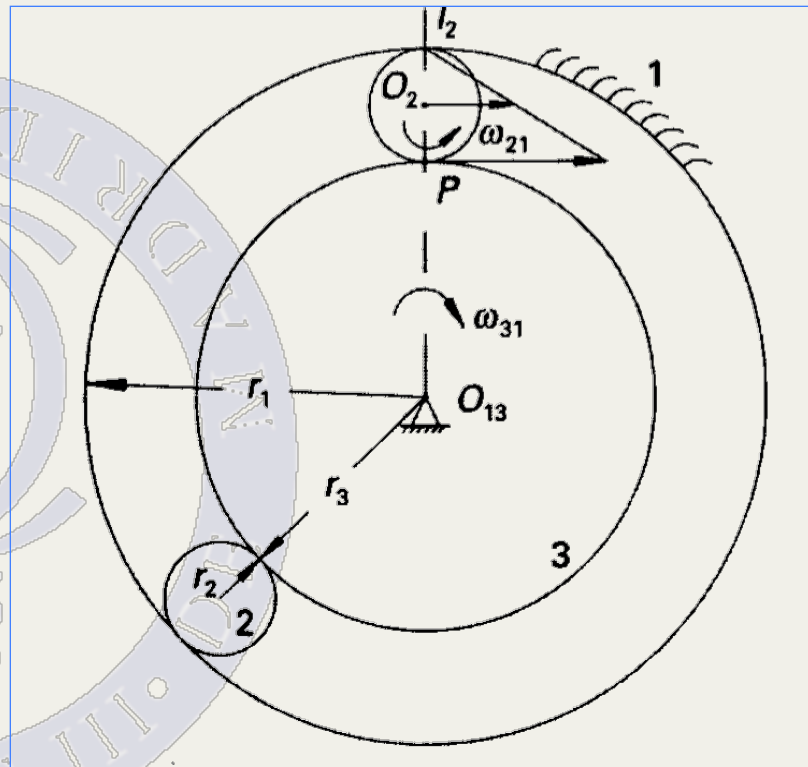
La velocidad angular (en rad/s) de las bolas respecto a su CIR es:

$$\omega_{21} = \frac{1}{2} \cdot \frac{r_3}{r_2} \cdot \omega_{31}$$

$$V_{O_2} = r_2 \cdot \omega_{21} = \frac{r_3}{2} \cdot \omega_{31}$$

La velocidad angular (en rad/s) del centro de la bolas alrededor del eje de los dos anillos (velocidad angular de la jaula) es:

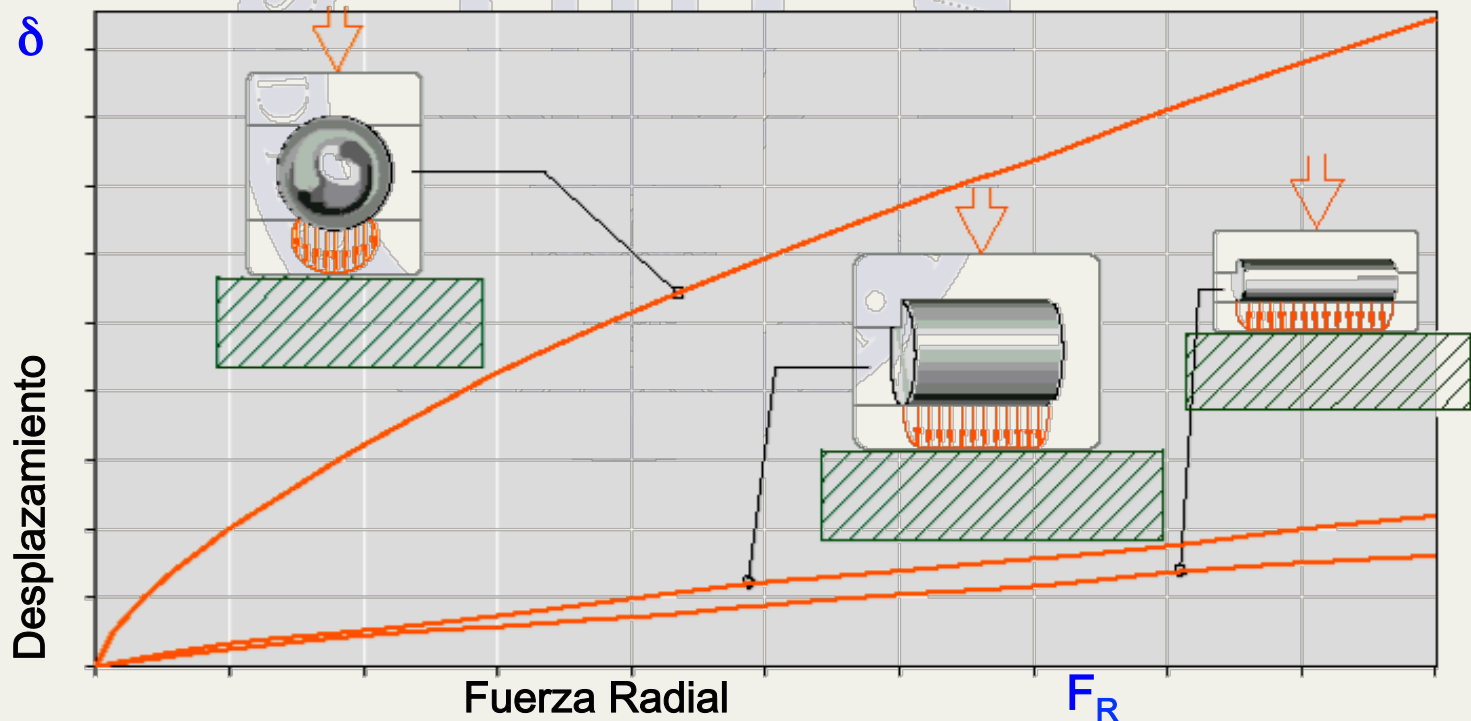
$$\omega_J = \frac{V_{O_2}}{r_2 + r_3} = \frac{1}{2} \cdot \frac{r_3}{r_3 + r_2} \cdot \omega_{31}$$



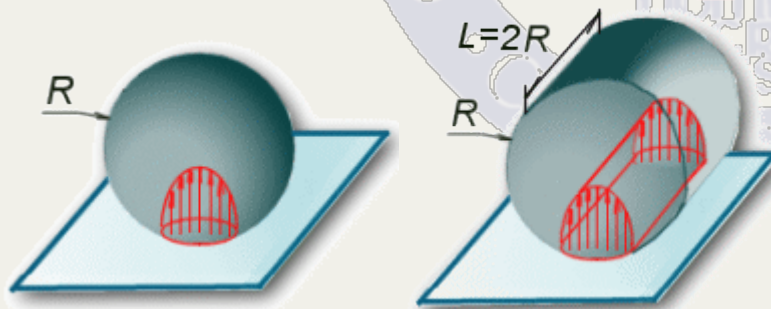
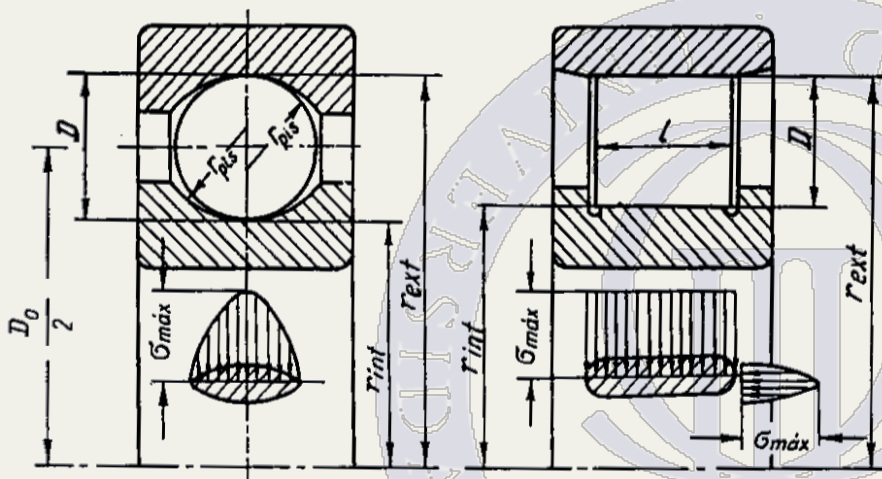


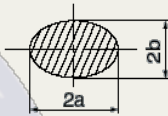
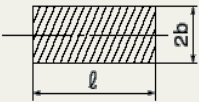
RIGIDEZ: CARGA-DESPLAZAMIENTO

- ❑ A igual carga e igual diámetro de los elementos rodantes, los rodamientos de rodillos presentan más superficie de contacto y se deforman menos que los de bolas, luego: **PUEDEN SOPORTAR MÁS CARGA.**

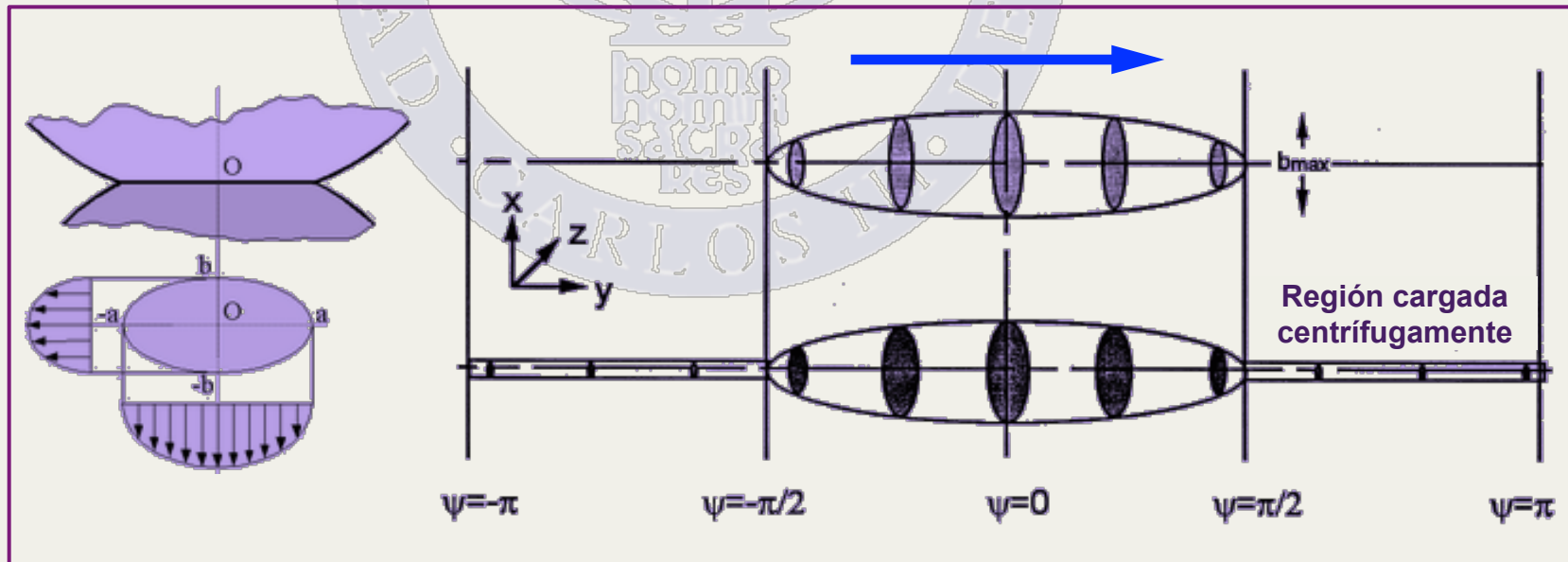
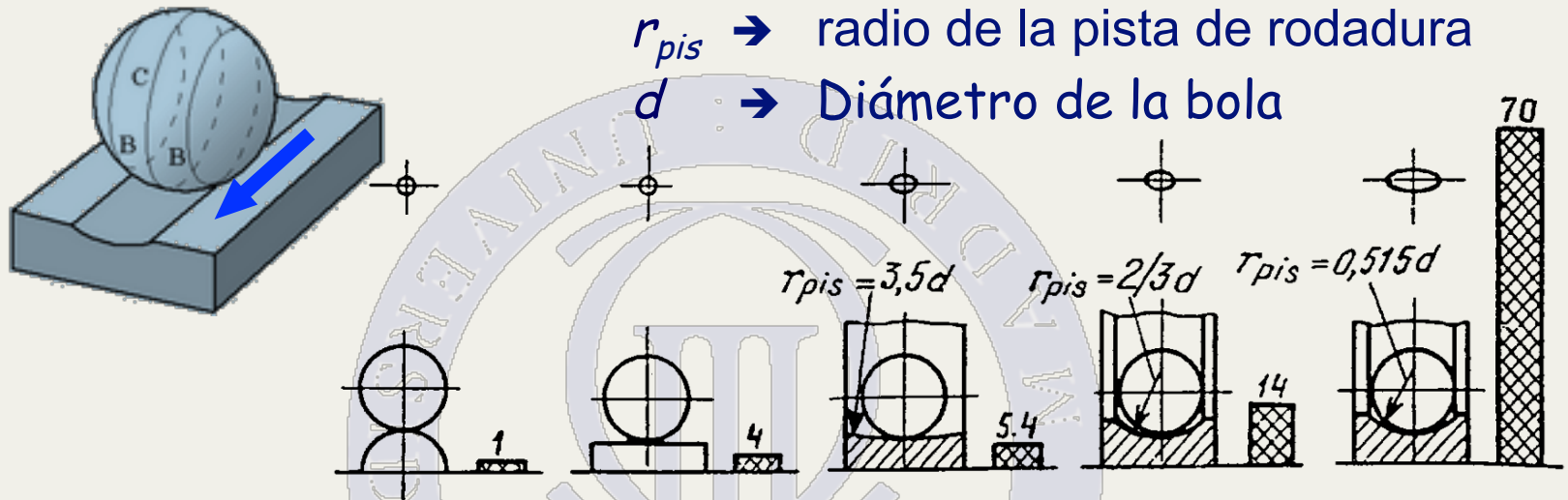


ÁREA DE CONTACTO

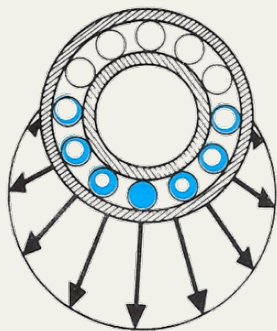
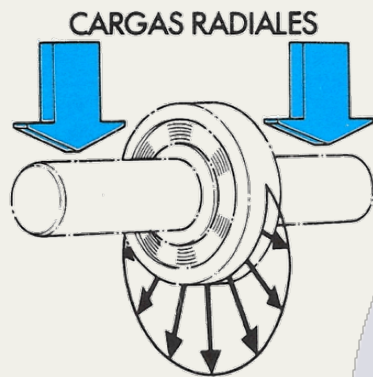


	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
La Pista	 Contacto de punto La superficie de contacto es ovalada cuando la carga es aplicada.	 Contacto de línea La superficie de contacto es rectangular cuando la carga es aplicada.
Características	Debido al contacto de puntos hay baja resistencia, los rodamientos de bolas son adecuados para aplicaciones de bajo torque y alta velocidad. tienen mejores características acústicos.	Debido al contacto de línea, el torque es mayor que en los rodamientos de bolas, pero la rigidez también es mayor.
Capacidad de carga	La capacidad de carga es baja, pero pueden soportar cargas en ambas direcciones. radial y axial.	La capacidad de carga es más alta. Los rodamientos de rodillos cilíndricos equipados con pestañas, pueden soportar una pequeña carga axial. Al combinar rodamientos de rodillos cónicos en pares, los mismos son capaces de soportar carga axial en ambas direcciones.

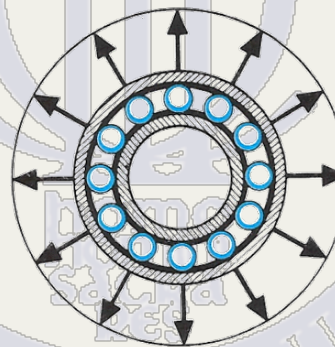
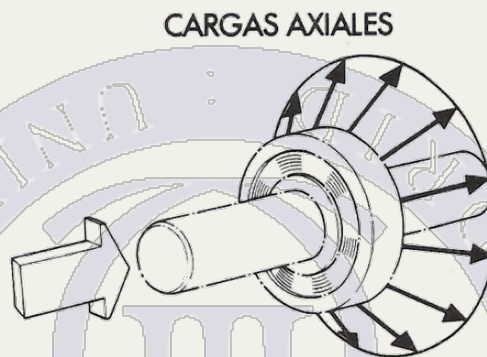
RELACIÓN CURVATURA-ÁREA DE CONTACTO



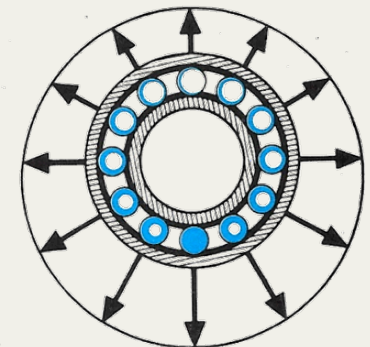
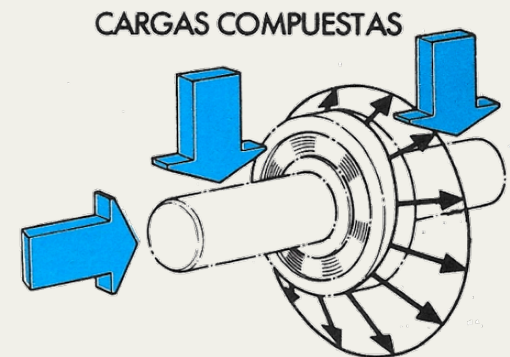
REPARTO DE CARGAS



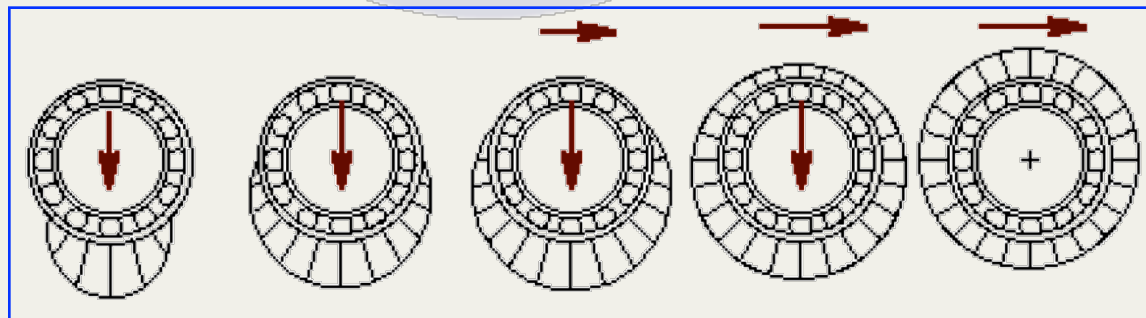
Sector 180° máximo



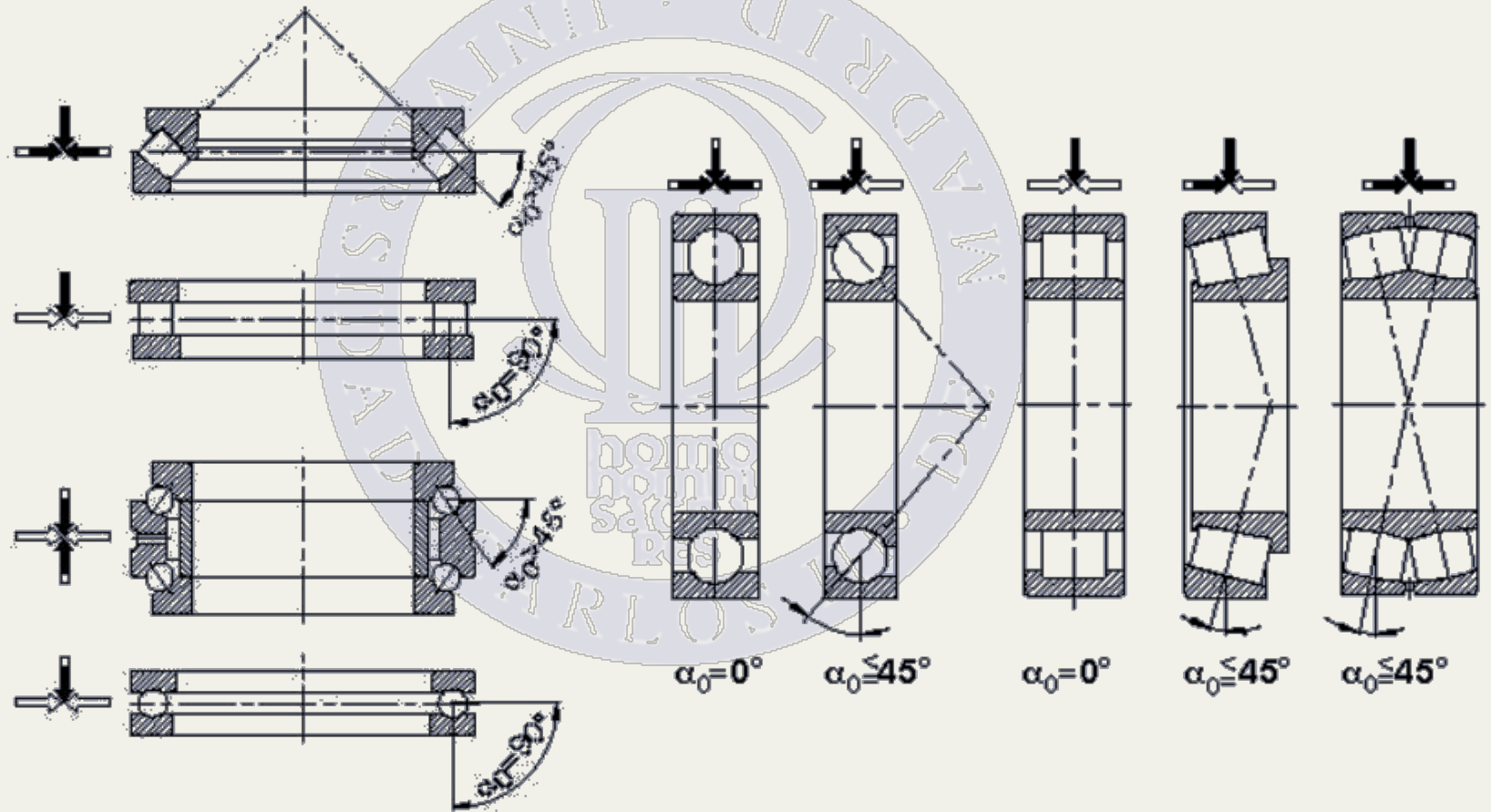
Repartidos sobre 360°



Distribución variable no uniforme



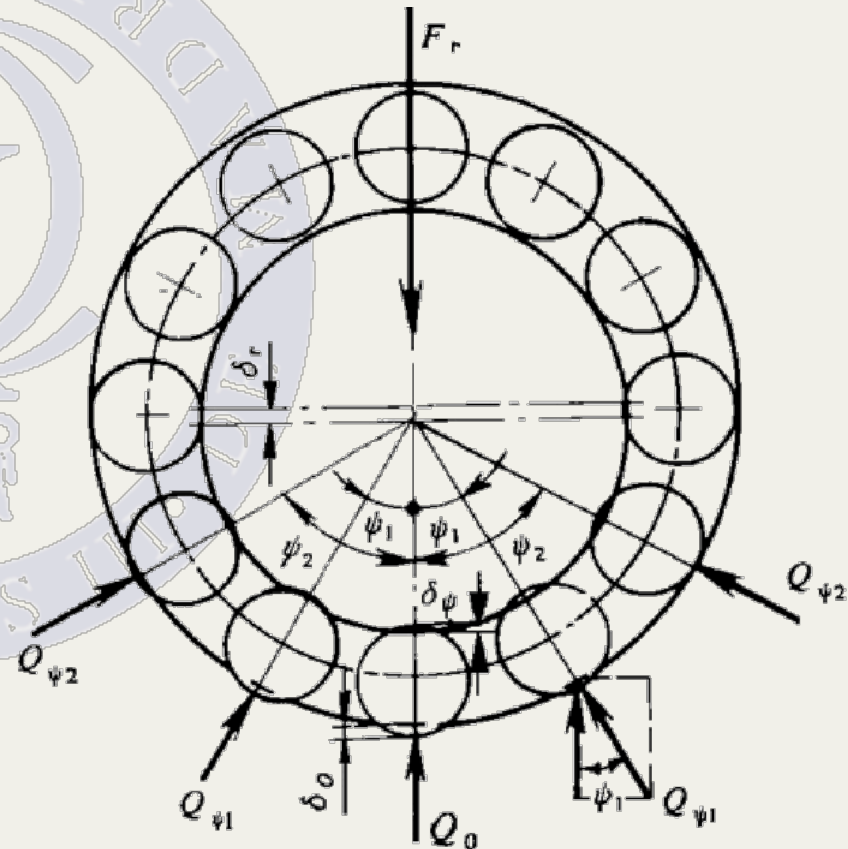
COMBINACIÓN DE CARGAS



DISTRIBUCIÓN DE CARGA

Distribución de carga radial en un rodamiento (sin holgura)

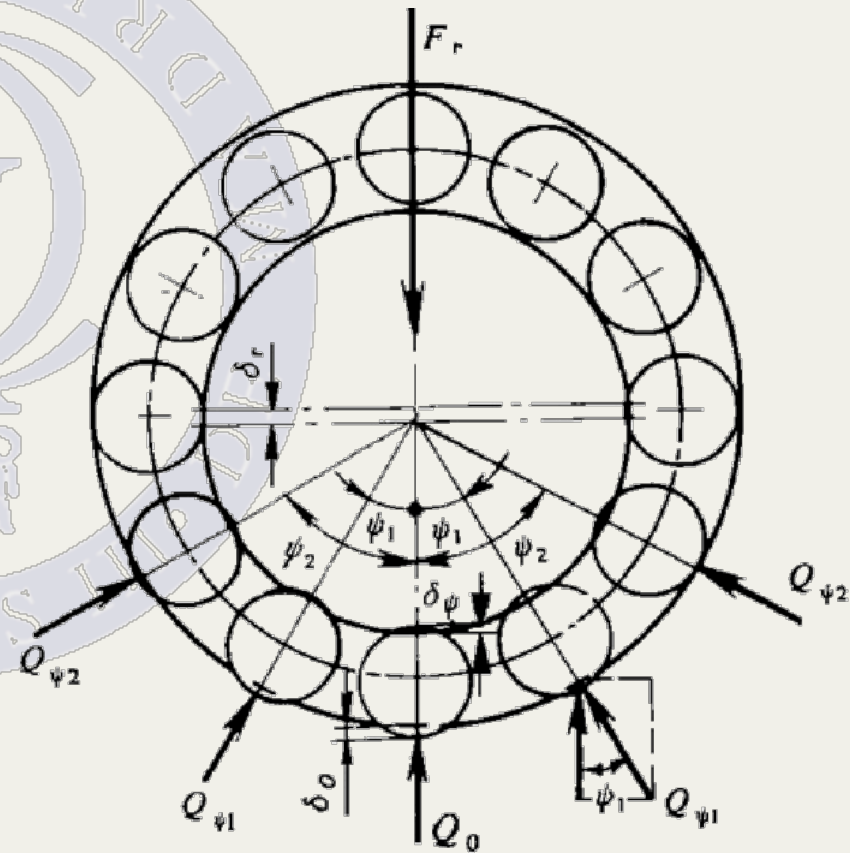
- La carga radial total F_r se distribuye en varios elementos rodantes (parte inferior).
- No hay holguras.
- La línea de carga pasa por el centro de los anillos.
- Las referencias son el centro del anillo exterior y la línea de carga.
- Se analiza la posición donde un elemento rodante está en la línea de carga (posición de máxima carga sobre un elemento rodante).



DISTRIBUCIÓN DE CARGA

Nomenclatura:

- F_r → Fuerza Radial Total.
- ψ → Angulo formado por el centro de un elemento rodante con la línea de carga.
- δ_r → Desplazamiento relativo entre los anillos, siguiendo la línea de carga.
- δ_ψ → Desplazamiento elástico siguiendo la línea de ángulo ψ .
- δ_0 → Desplazamiento elástico siguiendo la línea de carga.
- Q_ψ → Carga aplicada a un elemento rodante de ángulo ψ .
- Q_0 → Carga máxima aplicada a un elemento rodante (carga aplicada siguiendo la línea de carga, $\psi = 0^\circ$).





RELACIÓN CARGA-DESPLAZAMIENTO

$$\delta_n = K_n \cdot Q^T$$

δ_n → Desplazamiento elástico total entre dos anillos.

Q → Carga total aplicada al rodamiento.

T → Coeficiente (2/3 para bolas y 0,9 para rodillos).

K_n → Coeficiente sujeto al tipo de elemento rodante.

- ❑ El desplazamiento elástico total entre los dos anillos (δ_n) es igual a la suma de:
 - ❖ El desplazamiento elástico entre el elemento rodante y la pista del anillo interior (δ_i).
 - ❖ El desplazamiento elástico entre el elemento rodante y la pista del anillo exterior (δ_e).

$$\delta_n = \delta_i + \delta_e$$

DISTRIBUCIÓN DE CARGA

Equilibrio de fuerzas:

$$F_r = Q_0 + 2 \cdot \sum (Q_{\psi_x} \cdot \cos \psi_x)$$

- El desplazamiento elástico siguiendo la línea de ángulo ψ_x es:

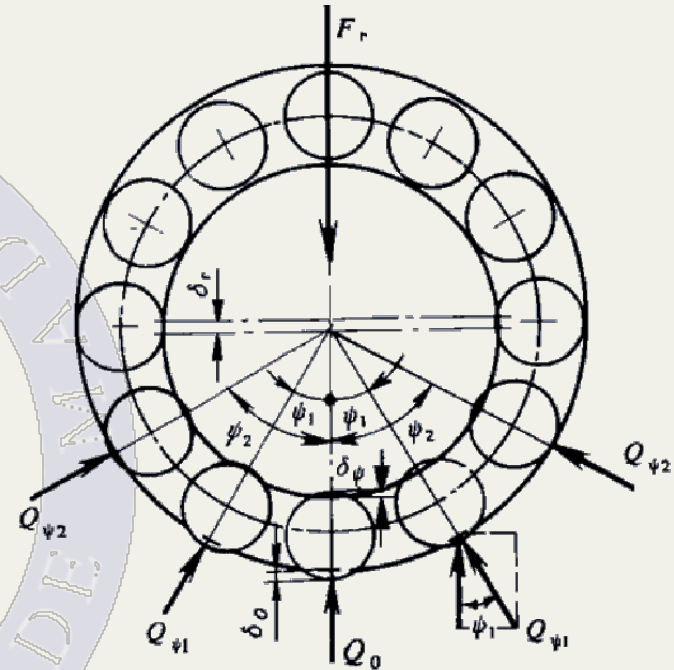
$$\delta_{\psi_x} = \delta_0 \cdot \cos \psi_x$$

- La relación entre el cociente de la carga de un elemento rodante y la carga máxima con el cociente de sus desplazamientos es:

$$\frac{Q_{\psi_x}}{Q_0} = \sqrt[3]{\frac{\delta_{\psi_x}}{\delta_0}}$$

- La carga de un elemento rodante respecto a la carga máxima es:

$$Q_{\psi_x} = Q_0 \cdot \sqrt[3]{\cos \psi_x}$$



DISTRIBUCIÓN DE CARGA

- La carga máxima en un elemento rodante respecto a la carga radial total aplicada al rodamiento es:

$$Q_0 = \frac{F_r}{Z \cdot J_r}$$

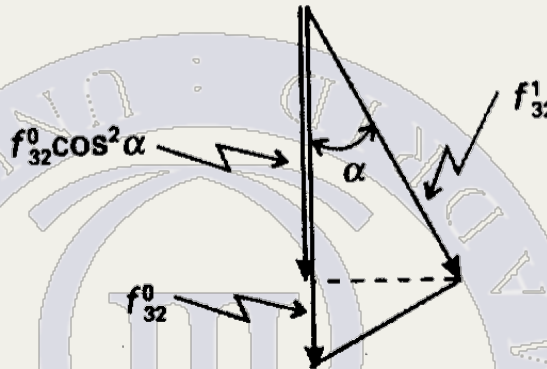
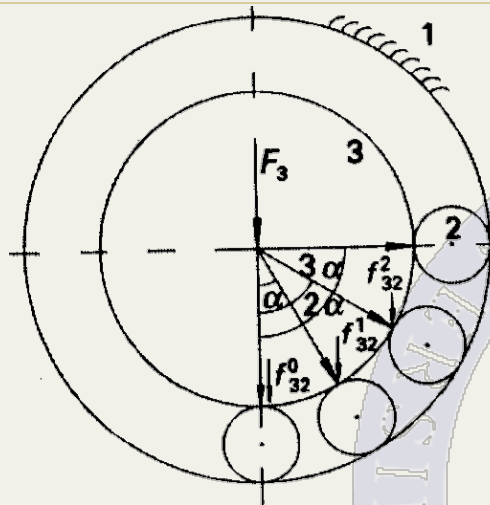
J_r → Factor que depende del número de elementos rodantes y del tipo de los mismos.

$$J_r = \frac{1 + 2 \cdot \sum (\cos \psi_x)^{\frac{T+1}{T}}}{Z}$$

Valores de $1/J_r$ para varios números y tipos de elementos rodantes

Tipo de elemento rodante	Número de elementos rodantes						
	6	7	8	10	12	15	20
Bolas	4,43	4,34	4,35	4,38	4,36	4,37	4,36
Cilindros	4,10	4,03	4,07	4,10	4,08	4,07	4,08

DISTRIBUCIÓN DE CARGA



$$\begin{cases} f_{32}^0 = f_{32}^0 \cdot \cos(0^\circ) \\ f_{32}^1 = f_{32}^0 \cdot \cos(\alpha) \\ f_{32}^2 = f_{32}^0 \cdot \cos(2 \cdot \alpha) \\ f_{32}^3 = f_{32}^0 \cdot \cos(3 \cdot \alpha) \end{cases}$$

$$F_3 = f_{32}^0 + 2 \cdot f_{32}^1 \cdot \cos(\alpha) + 2 \cdot f_{32}^2 \cdot \cos(2\alpha) + 2 \cdot f_{32}^3 \cdot \cos(3\alpha) + L$$

$$F_3 = f_{32}^0 + 2 \cdot f_{32}^1 \cdot \cos(\alpha) + 2 \cdot f_{32}^2 \cdot \cos(2\alpha) + 2 \cdot f_{32}^3 \cdot \cos(3\alpha) + L$$

$$F_3 = f_{32}^0 \cdot [1 + 2 \cdot \cos^2(\alpha) + 2 \cdot \cos^2(2\alpha) + 2 \cdot \cos^2(3\alpha) + L]$$

$$F_3 = f_{32}^0 \cdot K_Q \quad \left(K_Q = \frac{1}{J_R} \approx \frac{Z}{4} \right)$$

Por seguridad, se toma como $K_Q = Z/5$, así la carga que soporta el elemento rodante más cargado es:

$$f_{32}^0 = \frac{5 \cdot F_3}{Z}$$



ε

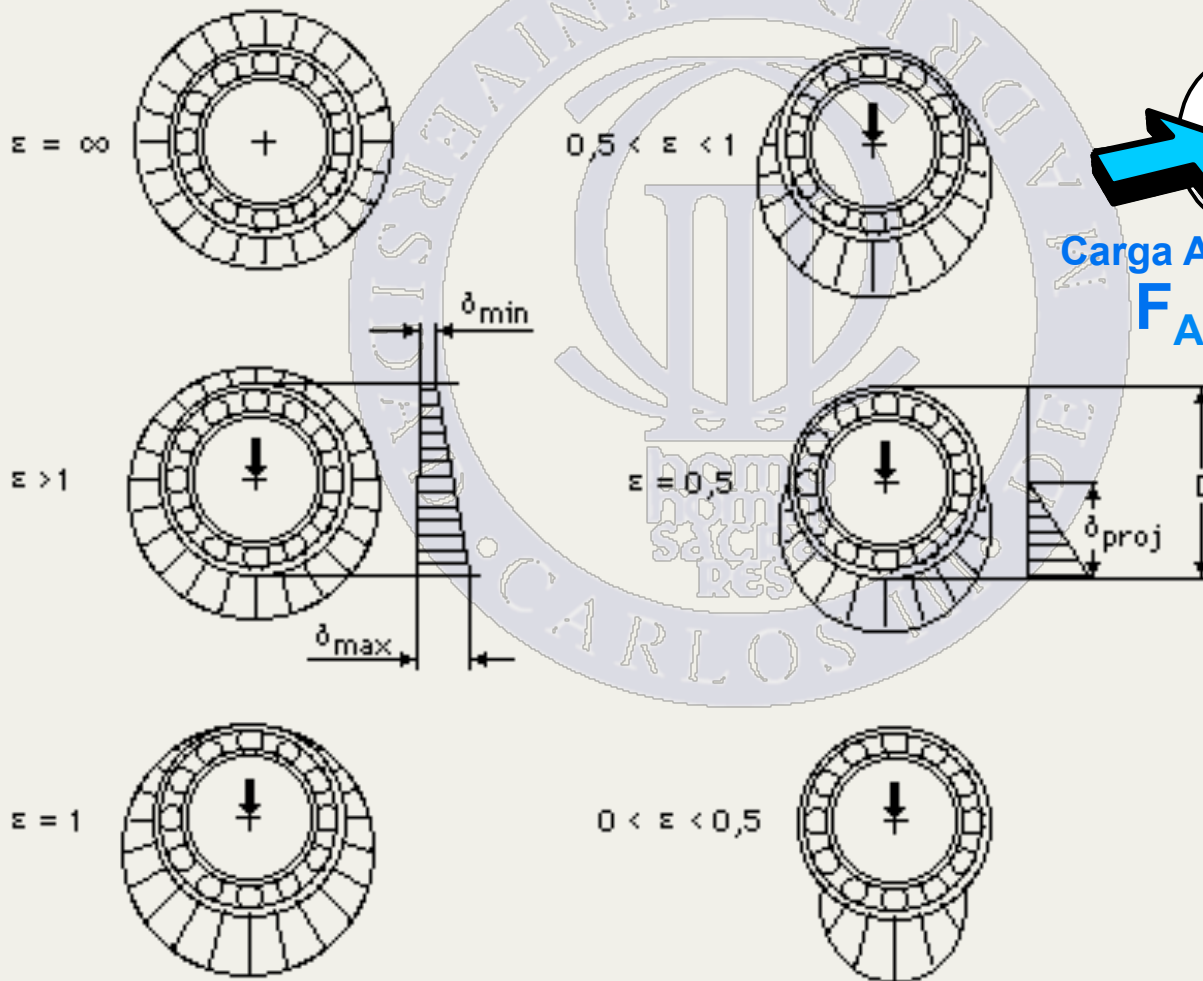
FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA

$$\varepsilon = \frac{\delta_{\max}}{\delta_{\max} - \delta_{\min}}$$

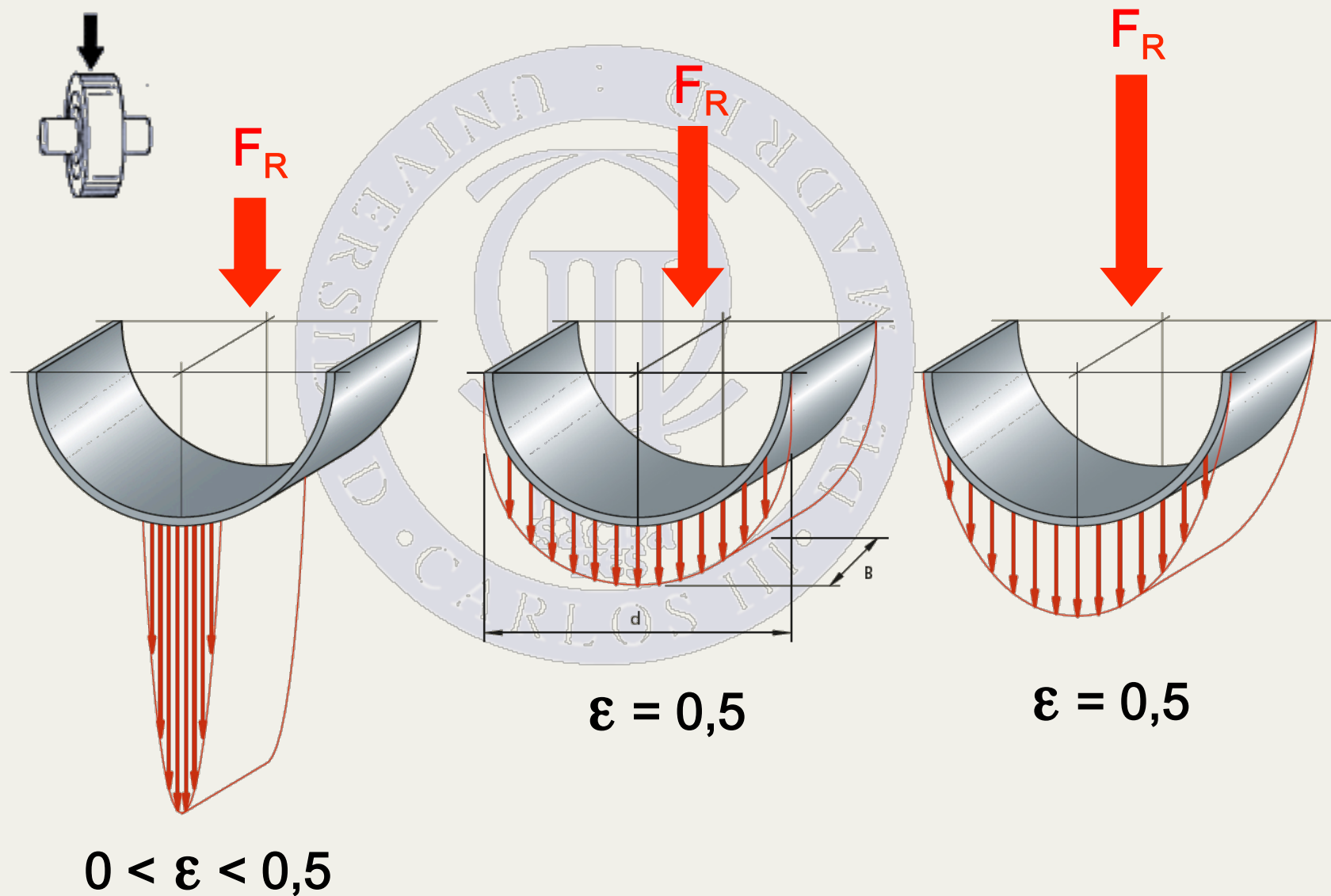
$$\varepsilon \geq 1$$

$$\varepsilon = \frac{\delta_{\text{proj}}}{D}$$

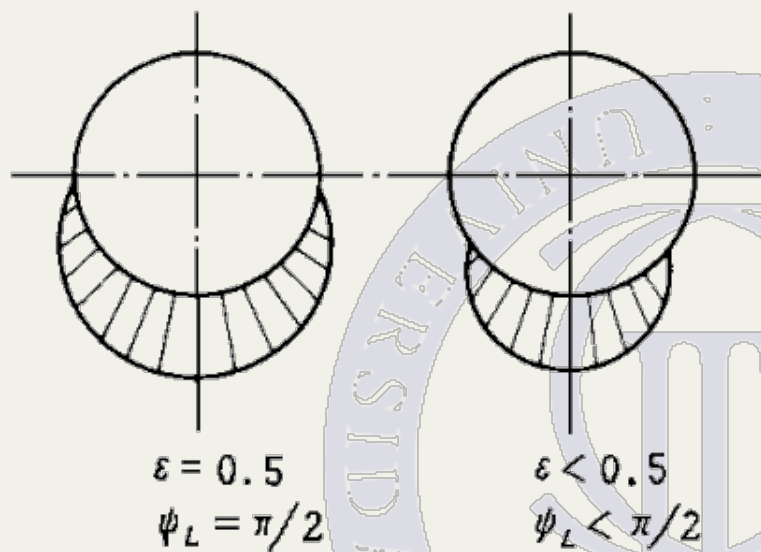
$$\varepsilon \leq 1$$



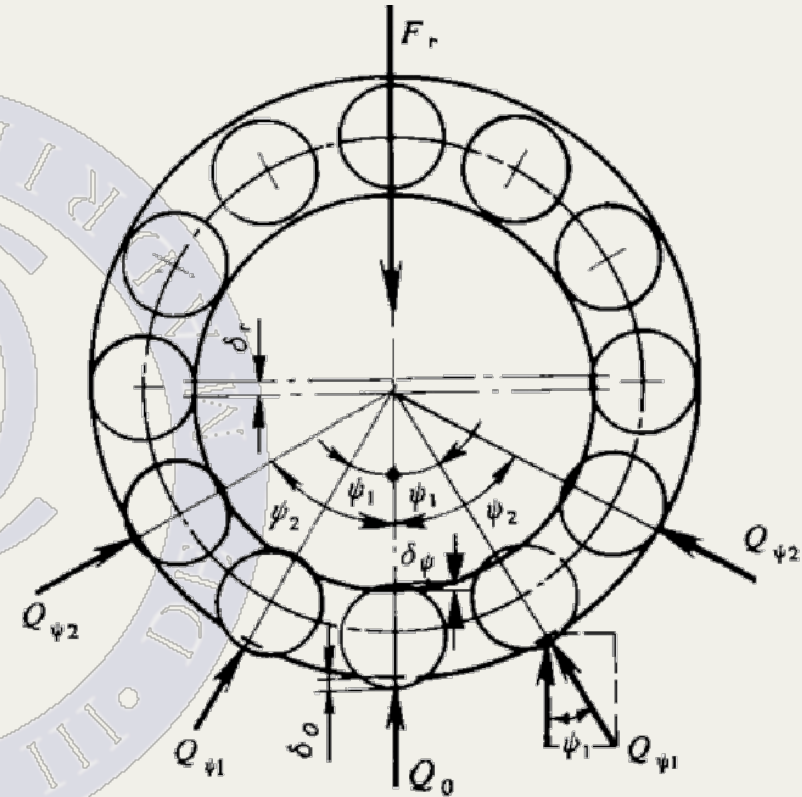
REPARTO DE CARGAS RADIALES



DISTRIBUCIÓN DE CARGA



$$Q_{\psi_x} = Q_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (1 - \cos \psi_x) \right]^{\frac{1}{T}}$$



ψ_L ➔ Semiángulo que abarca la zona de carga

ε ➔ Factor de distribución de carga

T ➔ Factor dependiente del tipo de elemento rodante
 ($1/T$ toma el valor **3/2** cuando es una bola y de **11/10** cuando es un cilindro).

$$Q_{\psi_x} = Q_0 \cdot \sqrt[T]{\cos \psi_x}$$

$\varepsilon = 0,5 \quad (\psi_L = 90^\circ)$