

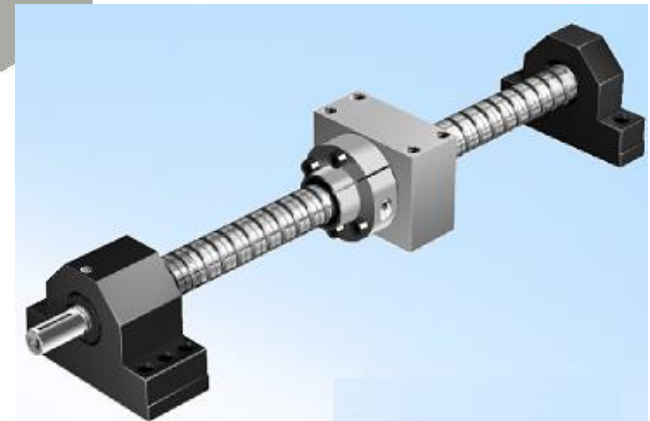
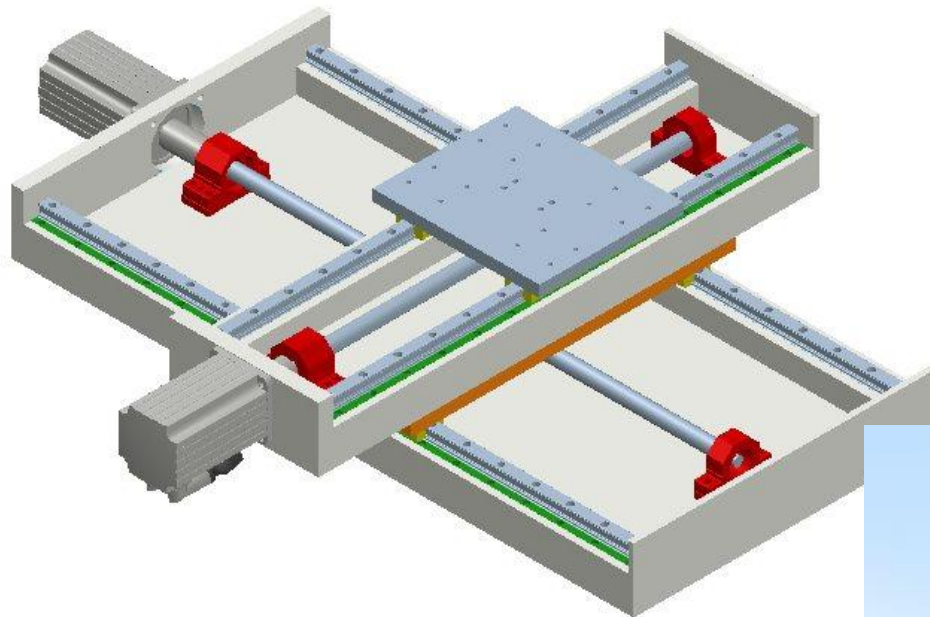
Aspectos en la selección de tornillos de bolas recirculantes

Rogelio L Hecker

**Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de
La Pampa - CONICET**

Sistemas de posicionamiento

- Mesa de posicionamiento tipo X-Y de precisión



Aplicaciones

- Máquinas herramientas
 - Tornos, centros de mecanizados, alesadoras, fresadoras, etc
- Otros: automatismos en general
 - Maquinado por laser, micromaquinado, automatismos en microscopios, pick and place, fabricación e inspección en electrónica, etc

Tonillo de bolas vs Acme

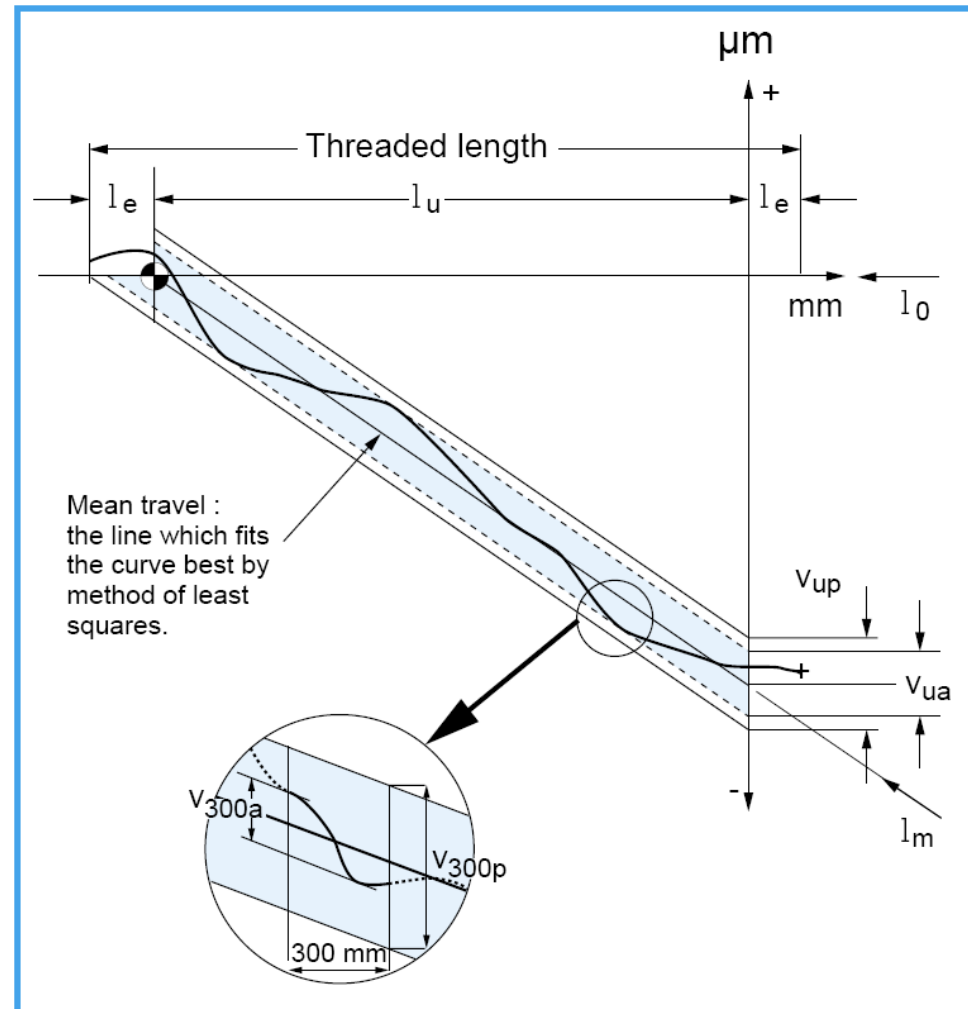
- Eficiencia mecánica mayor al 98%, ACME hasta 50%
- Mayor vida útil debido a desgaste bajo
- Menor potencia de accionamiento
- Reducido stick-slip
- Mayor precisión de posicionamiento
- Mayor velocidad
- Menor generación de calor

Criterios de selección

- Grado de precisión
- Rigidez
- Condiciones de carga en servicio
- Vida útil
- Velocidad crítica y admisible
- Carga de pandeo
- Otros aspectos: térmicos y dinámicos !!!!!

Precisión

- Diferentes parámetros
- Ojo
 - Solamente errores geométricos
 - Tornillo sin instalar



Rigidez

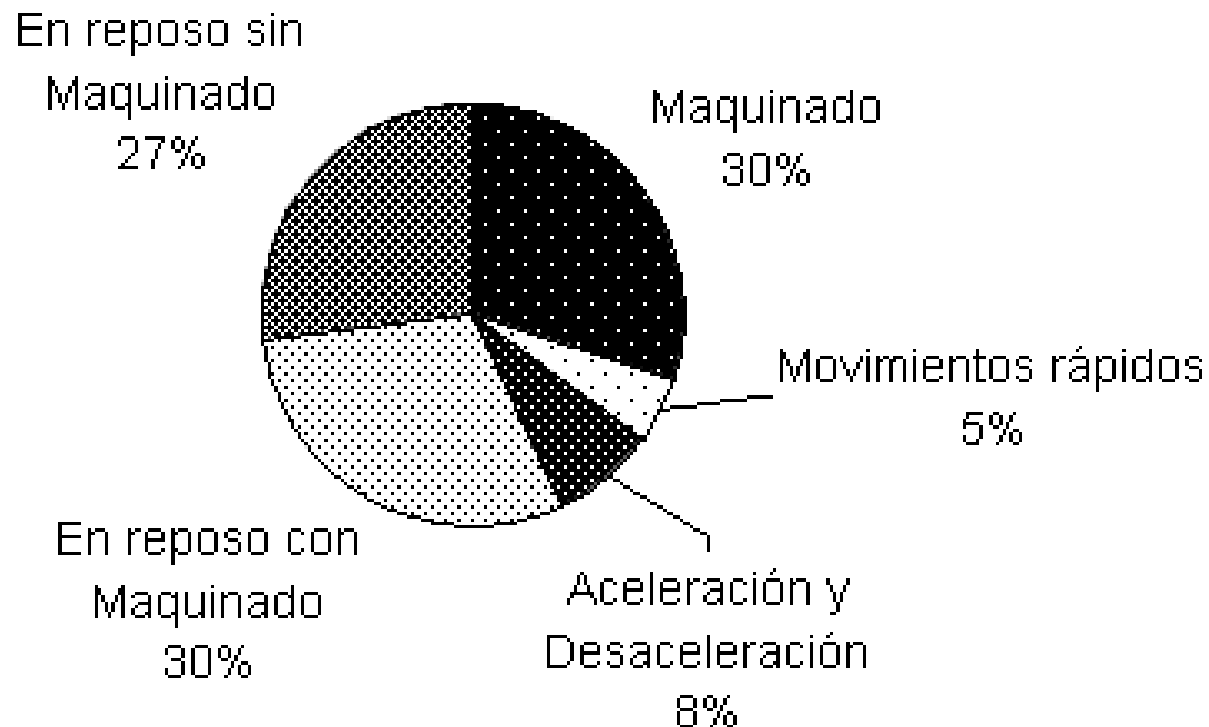
- Rigidez de la tuerca, R_{nu}
 - Diferentes precargas, fija o ajustable
 - Ojo, cambia la fricción
- Rigidez del tronillo, R_s
- Rigidez de los soportes, R_{aL}
- Rigidez del conjunto, R_{tot}

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_{aL}} + \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_{nu}}$$

- Ojo: concepto estático !!!

Tipos de operación

- Ejemplo para máquina herramienta



Condiciones de operación

Operación	Eje X			Eje Y		
	<i>n [rpm]</i>	<i>F [N]</i>	Utilizac.	<i>n [rpm]</i>	<i>F [N]</i>	Utilizac.
Maquinado	900	825	30 %	900	825	30 %
Movimientos Rápidos	4.200	120	5 %	4.200	130	5 %
Aceleración y Desaceleración	450	1.537	8 %	450	2.625	8 %
En reposo, con Maquinado	0	825	30 %	0	825	30 %
En reposo, sin Maquinado	0	0	27 %	0	0	27 %

Selección del tornillo - cálculos

- Consideraciones generales
 - Laminado clase T5 (23 um de error en 300 mm)
 - Precarga del 5% (rigidez vs. fricción)

- Cálculo

$$F_{av} = \sqrt[3]{\sum F_i^3 \cdot q_i \cdot \frac{n_i}{n_{med}}} \quad C_t = F_{av} \cdot \sqrt[3]{\frac{L_{rev}}{10^6}}$$

- Selección en manuales
- Cálculo de la vida útil final

Características de los tornillos

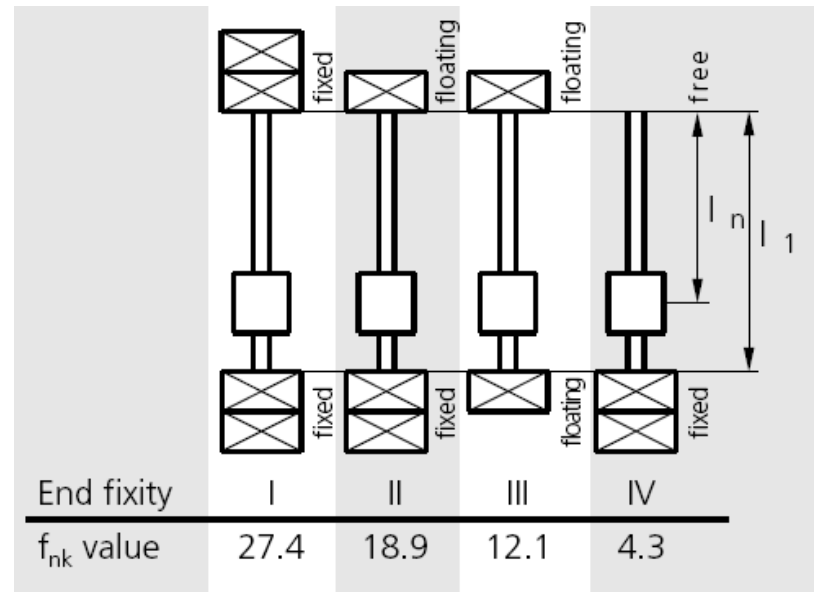
Descripción	Eje X	Eje Y
Diámetro del tornillo	25 mm	25 mm
Paso del tornillo [<i>m/rev</i>]	10 mm	10 mm
Largo total del tornillo [<i>mm</i>]	743	943
Momento de inercia [<i>kg m²</i>]	$1,78 \cdot 10^{-4}$	$2,25 \cdot 10^{-4}$
Capacidad de Carga dinámica (C) [<i>N</i>]	15.700	15.700
Precarga	5 %	5 %
Torque de fricción [<i>Nm</i>]	0,10 - 0,29	0,10 - 0,29

Verificación de velocidad

- Velocidad admisible 80% de la velocidad crítica
- Velocidad crítica depende del diámetro del tronillo, longitud libre y tipo de soportes

$$n_k = f_{nk} \cdot \frac{d_2}{l_n^2} \cdot 10^7$$

$$n_{kad} = 0,8 \cdot n_k$$

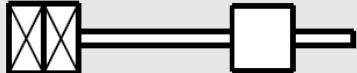

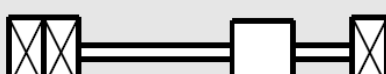
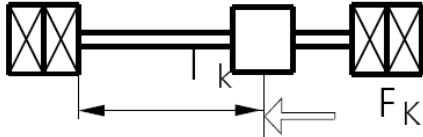


Verificación de carga axial

- Para evitar pandeo

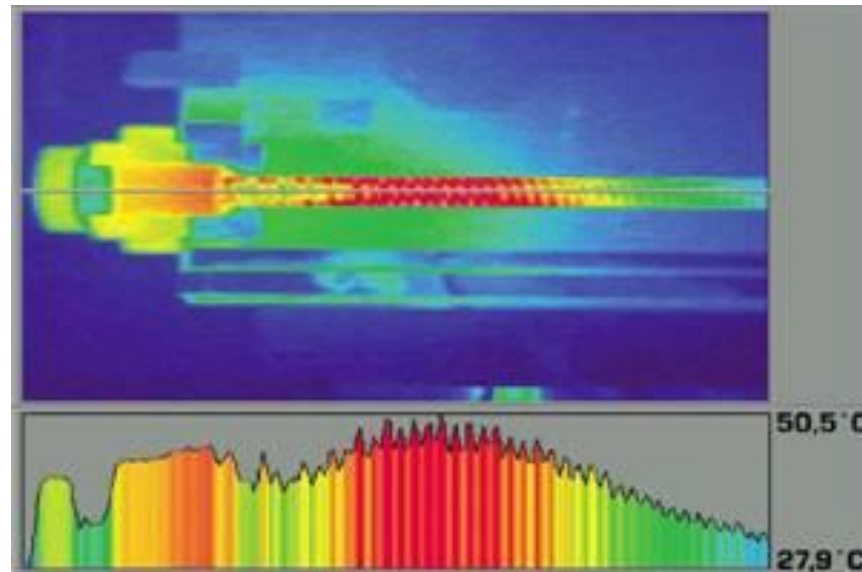
$$F_k = f_{Fk} \cdot \frac{d_2^4}{I_k^2} \cdot 10^4 \text{ (N)}$$

$$F_{kzul} = \frac{F_k}{2} \text{ (N)}$$

f_{Fk} value	End fixity
2.6	IV 
10.2	III 
20.4	II 
40.6	I 

Otros aspectos

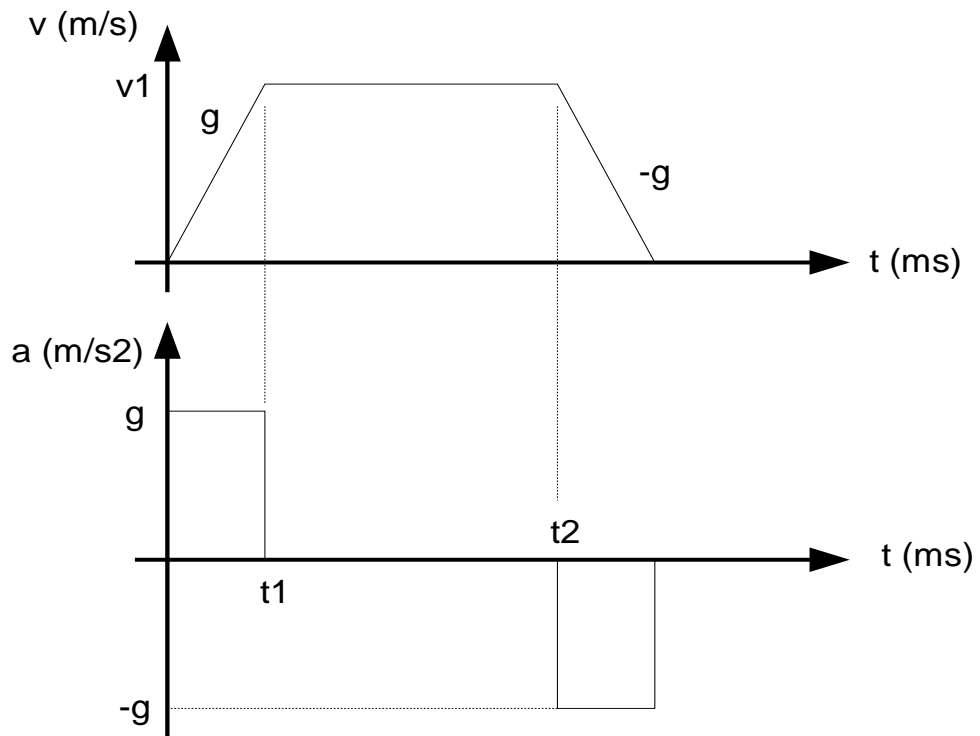
- Cargas térmicas



- Hasta 100 um de error en 1 metro de recorrido
- Difícil de compensar
- Se pueden disminuir con tornillos refrigerados

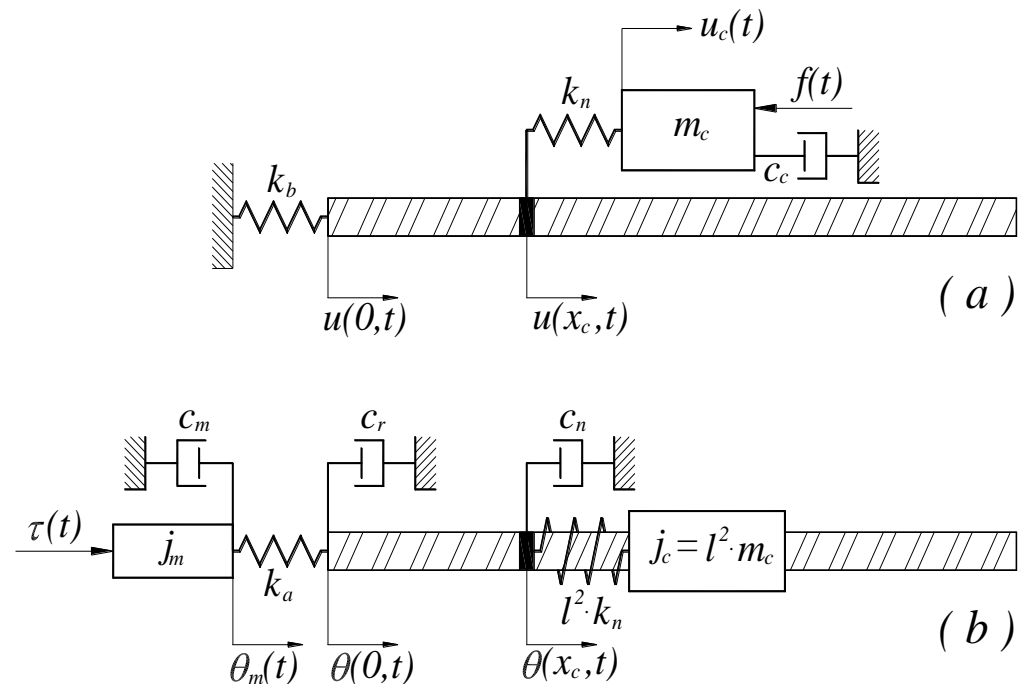
Comandos exigentes

- Perfil trapezoidal de velocidad
- Influye:
 - La fricción
 - Esfuerzos de corte
 - Masas a acelerar

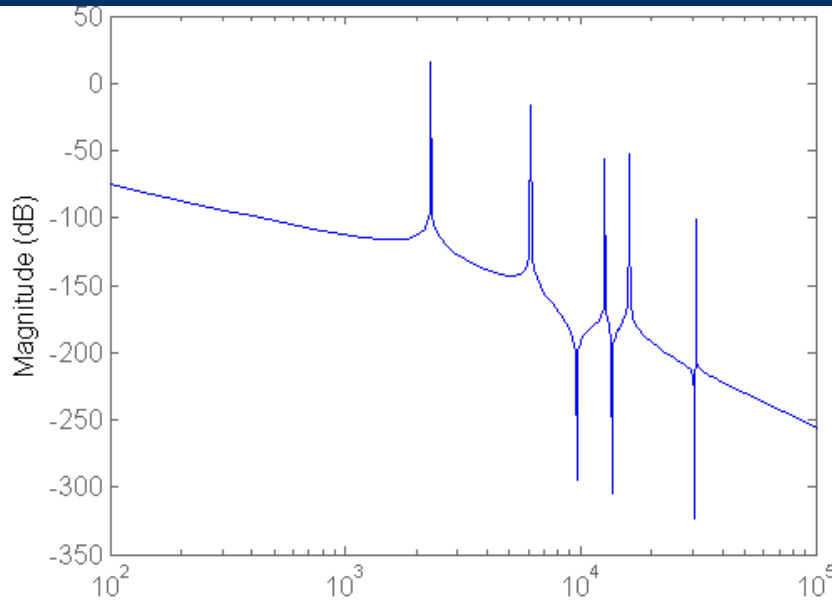


Modelo de la dinámica del tornillo

- Modelo en parámetros distribuidos para el tornillo y concentrados para los demás componentes



Dinámica del sistema



Bode del sistema.
Posición vs. torque
motor

Frecuencias
naturales

Modes	Smith (1999)		Ritz series Model $N_u = N_\theta = 2$
	Predicted	Measured	
ω_2 [Hz]	65	65	65
ω_3 [Hz]	566	512	760
ω_4 [Hz]	1258	1045	949

Sistema de medición

- Lineal respecto rotacional
 - Elimina errores por deformación estática, errores geométricos o cinemáticos y errores por deformaciones dinámicas
 - Pero aún existen errores propios del sistema y del montaje
 - Además, puede presentar problemas en los lazos de control debido a la inclusión de una mayor dinámica en los mismos



Sistema de posicionamiento UNLPam

