

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**ANEXOS**

**DISEÑO MECÁNICO DE UN DISPOSITIVO PARA  
ENSAYAR IMPLANTES INTERESPINOSOS EN EL  
CONJUNTO VÉRTEBRAS-DISCO A NIVEL LUMBAR EN EL  
PLANO SAGITAL MEDIANO**

**BRUNO ANTONIO VILLEGAS ESPINOZA**

**ASESOR: Dr. Dante Ángel Elías Giordano**

**Lima, Mayo del 2016**

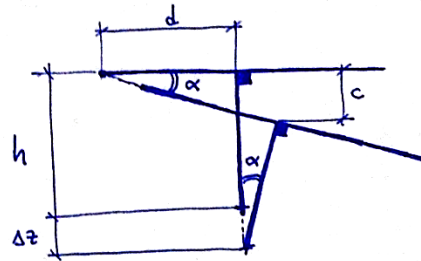
## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ANEXO 1</b>	
<b>CÁLCULO DEL ÁNGULO DE ROTACIÓN DEL CUERPO MÓVIL .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO 2</b>	
<b>COTIZACIÓN POR LA COMPRA DE RESORTES ISO 10243.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 3</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 431 .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO 4</b>	
<b>CÁLCULOS DE VERIFICACIÓN.....</b>	<b>91</b>

## ANEXO 1

## CÁLCULO DEL ÁNGULO DE ROTACIÓN DEL CUERPO MÓVIL

Se muestra el cálculo del ángulo de rotación del cuerpo móvil en función al desplazamiento lineal del actuador de la máquina de ensayo.



- $c = d \tan \alpha$
- $(h - c + \Delta z) \cos \alpha = h$
- $(h - d \tan \alpha + \Delta z) \cos \alpha = h$
- $h \cos \alpha - d \operatorname{sen} \alpha + \Delta z \cos \alpha = h$
- $(h + \Delta z) \cos \alpha - d \operatorname{sen} \alpha = h$
- $[(h + \Delta z) \cos \alpha]^2 = (h + d \operatorname{sen} \alpha)^2$
- $(\Delta z + h)^2 (\cos \alpha)^2 = h^2 + 2hd \operatorname{sen} \alpha + d^2 \operatorname{sen}^2 \alpha$
- $(\Delta z + h)^2 (1 - \operatorname{sen}^2 \alpha) = h^2 + 2hd \operatorname{sen} \alpha + d^2 \operatorname{sen}^2 \alpha$
- $(\Delta z + h)^2 - (\Delta z + h)^2 \operatorname{sen}^2 \alpha = h^2 + 2hd \operatorname{sen} \alpha + d^2 \operatorname{sen}^2 \alpha$
- $(d^2 + (\Delta z + h)^2) \operatorname{sen}^2 \alpha + 2hd \operatorname{sen} \alpha + h^2 - (\Delta z + h)^2 = 0$
- $\underbrace{[d^2 + (\Delta z + h)^2]}_a \operatorname{sen}^2 \alpha + \underbrace{2hd \operatorname{sen} \alpha}_b + \underbrace{-\Delta z - 2\Delta z h}_c = 0$
- $\operatorname{sen} \alpha = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

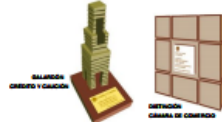
$$\hookrightarrow \therefore \alpha = \arcsen \left( \frac{-2hd + \sqrt{(2hd)^2 - 4(d^2 + (\Delta z + h)^2)(-\Delta z^2 - 2\Delta z h)}}{2(d^2 + (\Delta z + h)^2)} \right)$$

ANEXO 2

COTIZACIÓN POR LA COMPRA DE RESORTES ESTANDARIZADOS ISO 10243



MUELLES Y RESORTES STEEL MEFOBO, S.L.  
ENERGIA 57 - POL. IND. LES GUIXERES  
08915 BADALONA  
BARCELONA  
SPAIN  
CIF.: B62099635  
Tel.: (34) 934654408  
Fax.: (34) 934654417



PRESUPUESTO PROFORM	FECHA DATE	CLIENTE CUSTOMER
1152981	30-11-15	43000783

ENVIO / SHIPMENT: ENVIAN AGENCIA  
TIPO PORTES: DEBIDOS

PRESUPUESTO

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN BIOMECAICA Y ROBOTICA APLICADA  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU

PERU  
CIF/NIF: -  
Tel.: 6262000 ANEXO4867

E-mail: bruno.villegas@puccp.pe  
Fax.:

pedido / ORDER: MAIL

Ref.	Cantidad Quantity	Descripción Description	Precio Unitario Unit Price	Total
R20-025	50	M. MATRICERIA ISO 10243 FUERTE 20x25 ROJO	1,6300 30 1,1410	57,05

PLAZO DE ENTREGA INMEDIATO

PORTES DEBIDOS (EXW)

LES ROGAMOS REALICEN LO ANTES POSIBLE  
EL PAGO ANTICIPADO A LA CUENTA INDICADA PARA PODER AGILIZAR  
LA PREPARACION Y ENVIO DE LA MERCANCIA SOLICITADA.  
RECUERDEN PASAR POR FAX /MAIL EL CONFORME DE PAGO. GRACIAS

BANTIERRA SWIF: BCOEESMM191 ES67-3191-0510-07-5058976122

QUEDAMOS A SU DISPOSICION PARA CUALQUIER CONSULTA O COMENTARIO

!!! NUEVA WEB !!!

www.todomuelles.com

El cliente autoriza a domiciliar en su cuenta bancaria actualizada el importe de la factura que se emita una vez aceptada la oferta y, todo ello, según exige la ley de servicios de pago 16/2009 del 13 de noviembre.

TOTAL BRUTO GROSS TOTAL	% DTO. P.P. P.P. DISCOUNT	IMPTE DTO. P.P. P.P. DISC. AMOUNT	PORTES FREIGHT	BASE IMPONIBLE TAXABLE INCOME	% IVA % VAT	% EQUIV. % EQUIV.	IMPTE. I.V.A. VAT QTY	IMPTE. EQUIV. EQUIV. AMOUNT	TOTAL (EUROS)
57,05			0,00	57,05	21,0		11,98		69,03

FORMA DE PAGO: PAGO ANTICIPADO  
BANCO/BANK: PAGO ANTICIPADO  
C.C.C.: 0000 0000 00 0000000000

ANEXO 3

CARACTERÍSTICAS DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 431

N 350	AISI : 431
ANTINIT KWB	DIN : X22 Cr Ni 17
	W N° : 1.4057

Tipo de aleación : C 0,19 Cr 15,9 Ni 1,6 Mn 0,40 Si 0,25 %  
 Color de identificación : Negro - Naranja - Verde  
 Estado de suministro : Bonificado, decapado o pulido 220 - 280 HB

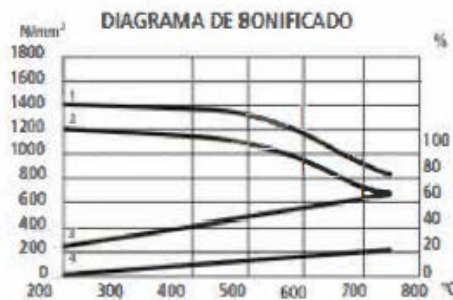
Aceros especial, inoxidable martensítico de alto contenido de cromo con aleación de níquel. Para elementos de construcción, con resistencia a la corrosión de agua, soluciones alcalinas y ácidos con fuerte efecto oxidante (ácido nítrico).

APLICACIONES: Para partes y repuestos de maquinaria naval. Elementos expuestos al agua dulce y vapor tales como bielas, válvulas, instrumentos navales, etc. Además es recomendable para elementos de maquinaria de la industria alimenticia y de papel, sometidas a grandes esfuerzos dinámicos.

ESTADO DE EMPLEO: Bonificado, con la superficie necesaria rectificada fina, o preferiblemente pulida espejo.

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjado: 1100 - 800 °C  
 Recocido: 650 - 750 °C  
 Resistencia a la tracción en estado recocido: 750 - 900 N/mm<sup>2</sup>  
 219 - 263 HB  
 Templado: Al aceite 980 - 1030 °C  
 Dureza obtenible: 45 - 47 HRC  
 Revenido: 620 - 720 °C



Soldadura: El acero es relativamente soldable. En este caso se debe calentar a una temp. de 250-450 °C según el espesor del material. Electrodo: Según DIN 8556 : E 43015 ó UTP 6820 MÖLC E 308 - 15. Un recocido posterior a la temp. de 600-700 °C disminuye la dureza en la zona circundante y aumenta la tenacidad.

- 1. Resistencia a la tracción
- 2. Límite de fluencia
- 3. Contracción
- 4. Elongación

PROPIEDADES MECÁNICAS									
Dureza Brinell Bonificado HB	Límite de fluencia min. N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento (L = 5d) min. %	Contracción min. %	Resistencia al impacto ISO-V J min long.	Límite de fluencia ensayada en probeta caliente min. N/mm <sup>2</sup>			
						100°	200°	300°	400°
260	600	800 - 950	14	45	25	510	461	441	412

ANEXO 4

CÁLCULOS DE VERIFICACIÓN

Análisis de resistencia a la fluencia

Elementos del modelo vertebral

Apófisis superior

Dimensiones del elemento

$$c_{im} := 40 \text{ mm} - 5 \text{ mm} - 6 \text{ mm} = 29 \text{ mm}$$

$$b := 8 \text{ mm} \quad h := 30 \text{ mm} \quad a := 10 \text{ mm}$$

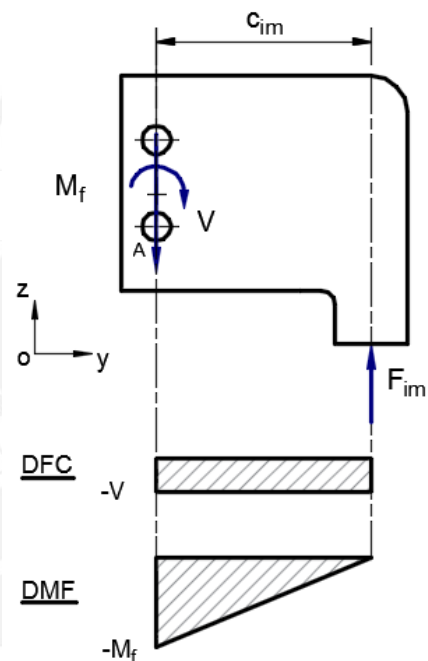
$$d_{ag} := 4.5 \text{ mm} \quad c_{ag} := 15 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$



Verificación por fluencia en sección crítica

Figura 1. DCL y Diagramas de fuerzas internas de la apófisis superior.

Equilibrio de fuerzas y momentos

$$F_{im} := F_{imax} = 458 \text{ N}$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$V := F_{im} = 458 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$M_f := V \cdot c_{im} = 13278 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

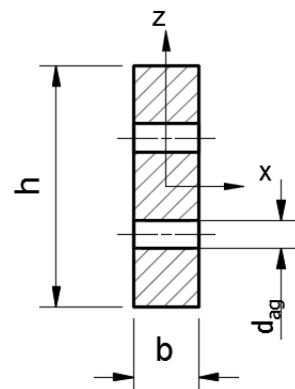


Figura 2. Sección crítica de la apófisis superior.

Esfuerzo de flexión

$$I_x := \frac{b \cdot h^3}{12} - 2 \cdot \left( \frac{b \cdot d_{ag}^3}{12} + b \cdot d_{ag} \cdot \left( \frac{c_{ag}}{2} \right)^2 \right) = 13829 \text{ mm}^4$$

$$A := h \cdot b - 2 \cdot b \cdot d_{ag} = 168 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_f := \frac{M_f \cdot \frac{h}{2}}{I_x} = 14.4 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante

$$\tau_c := \frac{V}{A} = 2.73 \text{ MPa}$$

Esfuerzo equivalente según Von Mises

$$\sigma_e := \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_c^2} = 15.2 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\sigma_F}{\sigma_e} = 39.6$$

Verificación por aplastamiento en agujero

Equilibrio de fuerzas y momentos

$$\Sigma F_z = 0$$

$$F_c := \frac{F_{im}}{2} = 229 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$F_h := \frac{c_{im} \cdot F_{im}}{c_{ag}} = 885 \text{ N}$$

$$F_T := \sqrt{F_c^2 + F_h^2} = 914.3 \text{ N}$$

Esfuerzo normal

$$p := \frac{F_T}{b \cdot d_{ag}} = 25.4 \text{ MPa}$$

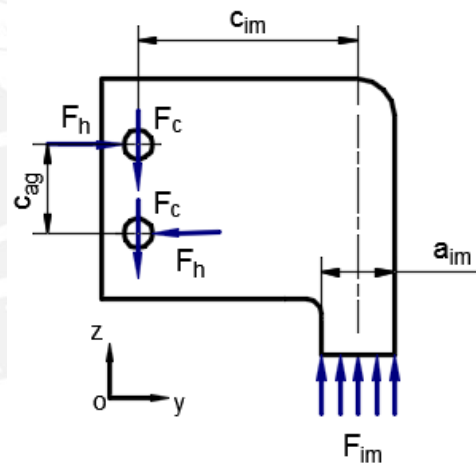


Figura 3. Descomposición de fuerzas cortantes en agujeros.

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{adm}}{p} = 7.1$$

**Verificación por aplastamiento en alojamiento de implante**

Esfuerzo normal

$$\rho_{im} := \frac{F_{imax}}{b \cdot a} = 5.7 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\rho_{adm}}{\rho_{im}} = 31.4$$

**Cuerpo superior**

Dimensiones del elemento

$$c_1 := 22.5 \text{ mm} \quad d_{ag} := 6 \text{ mm} \quad h := 32 \text{ mm}$$

$$c_2 := 15 \text{ mm} \quad d_{agt} := 6 \text{ mm} \quad b := 75 \text{ mm}$$

$$r := 15 \text{ mm} \quad t_{ap} := 5 \text{ mm} \quad d_{ext} := 19 \text{ mm}$$

$$L_t := 15 \text{ mm} \quad d_{int} := 11 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

**Verificación por fluencia en sección crítica**

Equilibrio de fuerzas y momentos

$$R_{ap} := R_{apmax} = 757 \text{ N} \quad F_a := F_{amax} = 3455 \text{ N}$$

$$R_c := \frac{R_{ap} \cdot d_{ap}}{2 \cdot c_1} = 841 \text{ N} \quad R_{r1} := R_{r1max} = 852 \text{ N}$$

$$R_{r2} := R_{r2max} = 1387 \text{ N}$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$V := R_c + \frac{R_{ap}}{2} + R_{r1} = 2072 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$M_f := \left( R_c + \frac{R_{ap}}{2} \right) \cdot c_1 + R_{r1} \cdot r = 40229 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

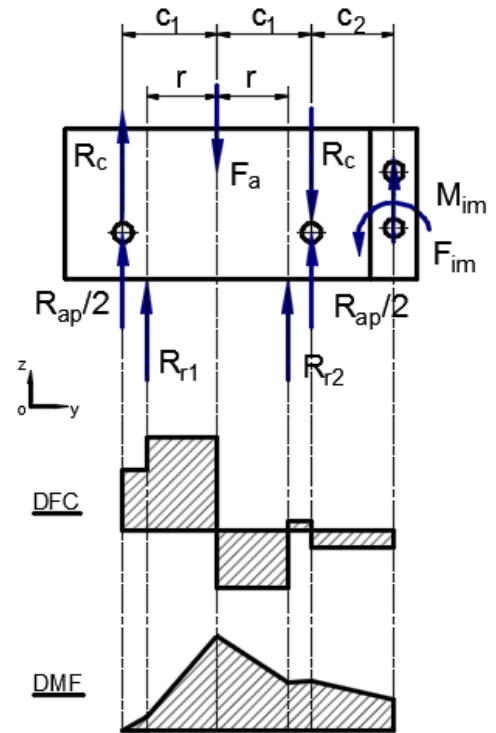


Figura 4. DCL y Diagramas de fuerzas internas del cuerpo superior.

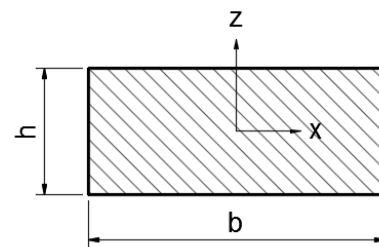


Figura 5. Sección crítica del cuerpo superior.



$$A := h \cdot b = 2400 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo de flexión

Esfuerzo cortante

$$I_x := \frac{b \cdot h^3}{12} = 204800 \text{ mm}^4$$

$$\tau_c := \frac{V}{A} = 0.86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f := \frac{M_f \cdot \frac{h}{2}}{I_x} = 3.1 \text{ MPa}$$

Esfuerzo equivalente según Von Mises

Factor de seguridad

$$\sigma_e := \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_c^2} = 3.5 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{\sigma_F}{\sigma_e} = 172.4$$

### Verificación por aplastamiento en agujero de la apósis

Fuerza de aplastamiento

Esfuerzo normal

Factor de seguridad

$$F_T = 914.3 \text{ N}$$

$$p := \frac{F_T}{2 \cdot t_{ap} \cdot d_{ag}} = 15 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{p_{adm}}{p} = 11.8$$

### Verificación por aplastamiento en cavidad de resortes

$$A_R := \frac{\pi \cdot (d_{ext}^2 - d_{int}^2)}{4} = 188 \text{ mm}^2$$

Fuerza de aplastamiento

$$F_R := \frac{R_{2max}}{2} = 694 \text{ N}$$

Esfuerzo normal

$$p := \frac{F_R}{A_R} = 4 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{adm}}{p} = 49$$

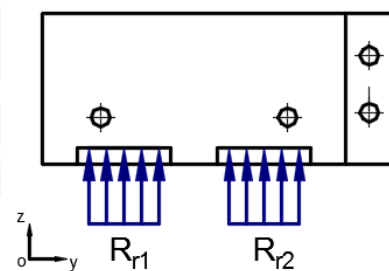


Figura 6. Fuerza distribuida en cavidad del resorte.

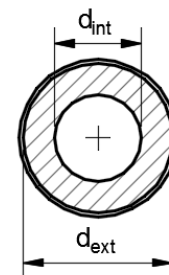


Figura 7. Área de aplastamiento.

**Verificación por aplastamiento del agujero del tornillo**

Fuerza de aplastamiento

$$F_T := \frac{R_{ap}}{4} + \frac{R_c}{2} = 610 \text{ N} \quad A := L_t \cdot d_{agt} = 90 \text{ mm}^2 \quad e := 10 \text{ mm}$$

Esfuerzo normal

$$p := \frac{F_T}{A} = 7 \text{ MPa}$$

Momento generado en el agujero

$$M_{ag} := \left( \frac{e}{2} + \frac{L_t}{2} \right) \cdot F_T = 7625 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$p_{Mmax} := \frac{6 \cdot M_{ag}}{d_{agt} \cdot L_t^2} = 34 \text{ MPa}$$

$$p_{max} := p + p_{Mmax} = 41 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{adm}}{p_{max}} = 4.4$$

Elementos de la estructura del dispositivo

Placa lateral

Dimensiones del elemento

$$d_{ap} = 50 \text{ mm} \quad c_{ag} := 45 \text{ mm}$$

$$d_{agt} = 6 \text{ mm} \quad e := 10 \text{ mm}$$

$$d_a := 10 \text{ mm} \quad h := 20 \text{ mm}$$

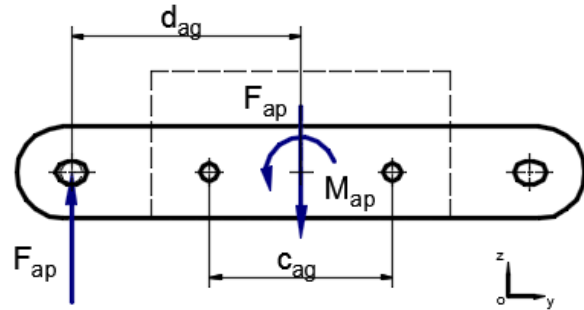


Figura 8. DCL simplificado de la placa lateral.

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad E_{acero} := 2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

$$\nu := 0.3$$

Verificación por fluencia en sección crítica

$$F_{ap} := \frac{R_{apmax}}{2} = 379 \text{ N}$$

$$R_{cap} := \frac{F_{ap} \cdot d_{ap}}{c_{ag}} = 421 \text{ N}$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$V := F_{ap} = 379 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$M_f := F_{ap} \cdot \left( d_{ap} - \frac{c_{ag}}{2} \right) = 10411 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$I_x := \frac{e \cdot h^3}{12} - \frac{e \cdot d_{ag}^3}{12} = 6487 \text{ mm}^4$$

$$A := h \cdot e - d_{ag} \cdot e = 140 \text{ mm}^2$$

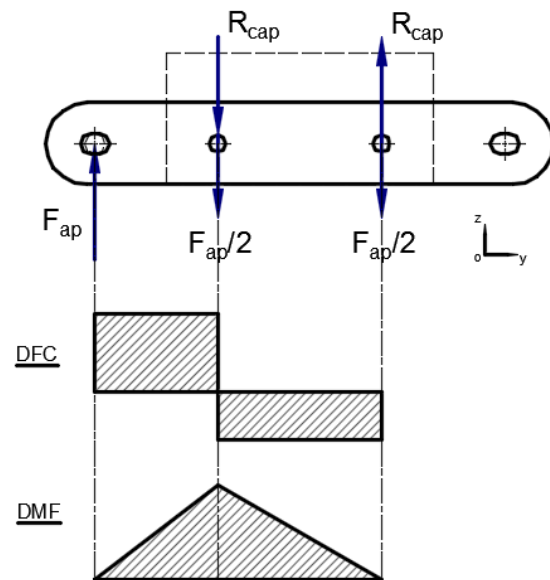


Figura 9. DCL y Diagramas de fuerzas internas de la placa lateral.

$$\sigma_f := \frac{M_f \cdot \frac{h}{2}}{I_x} = 16.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_c := \frac{V}{A} = 3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_e := \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_c^2} = 16.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

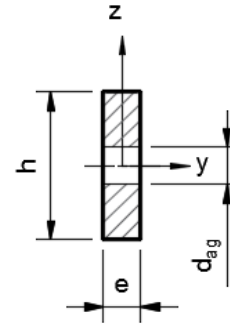


Figura 10. Sección crítica de la placa lateral.

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\sigma_F}{\sigma_e} = 36$$

### Verificación por aplastamiento de la unión con cuerpo superior

Fuerza de aplastamiento

$$F_T := \frac{F_{ap}}{2} + R_{cap} = 610 \text{ N} \quad A := e \cdot d_{ag} = 60 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo normal

$$p := \frac{F_T}{A} = 10 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{adm}}{p} = 17.7$$

### Verificación por aplastamiento del agujero de apoyo - Presión de Hertz

$$F_{ap} = 379 \text{ N}$$

$$b := \sqrt{\left( \frac{2 \cdot F_{ap}}{\pi \cdot e} \right) \cdot \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{E_{acero}}} = 0.0457 \text{ mm}$$

$$P_{max} := \frac{2 \cdot F_{ap}}{\pi \cdot b \cdot e} = 527 \text{ MPa}$$

$$T_{max} := 0.3 \cdot P_{max} = 158 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{T_F}{T_{max}} = 1.9$$

**Apoyo lateral**

Dimensiones del elemento

$$e := 10 \text{ mm} \quad b := 20 \text{ mm} \quad d_{pi} := 10 \text{ mm}$$

$$d_{ag} := 10 \text{ mm} \quad b_c := 10 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa}$$

$$\tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad \rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

**Verificación por aplastamiento del agujero del pin**

Fuerza de aplastamiento

$$F := \frac{R_{ap}}{2} = 379 \text{ N} \quad A := e \cdot d_{ag} = 100 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo normal

$$\rho := \frac{F}{A} = 4 \text{ MPa}$$

Momento generado en el agujero

$$M_f := d_{pi} \cdot F = 3786 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\rho_{Mmax} := \frac{6 \cdot M_f}{d_{ag} \cdot e^2} = 23 \text{ MPa}$$

$$\rho_{max} := \rho + \rho_{Mmax} = 27 \text{ MPa}$$

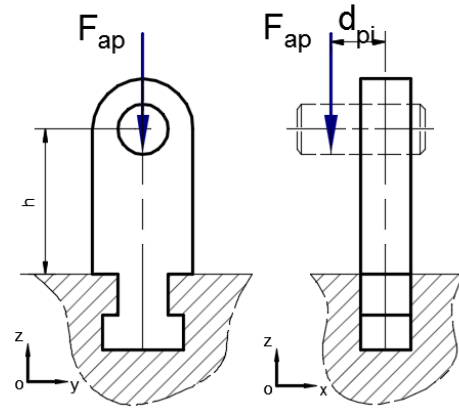


Figura 11. Fuerza externa sobre el apoyo lateral.

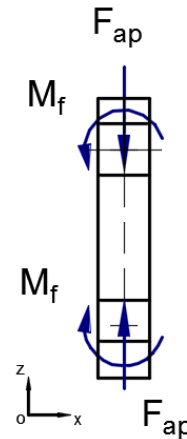


Figura 12. DCL del apoyo lateral.

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\rho_{adm}}{\rho_{max}} = 6.8$$

**Verificación por aplastamiento en la base del apoyo**

Fuerza de aplastamiento

$$F := \frac{R_{ap}}{2} = 379 \text{ N} \quad A := e \cdot (b - b_c) = 100 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo normal

$$p := \frac{F}{A} = 4 \text{ MPa}$$

Momento generado en el agujero

$$M_f := d_{pi} \cdot F = 3786 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$p_{Mmax} := \frac{6 \cdot M_f}{(b - b_c) \cdot e^2} = 23 \text{ MPa}$$

$$p_{max} := p + p_{Mmax} = 27 \text{ MPa}$$

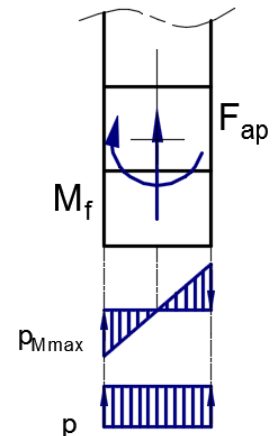


Figura 13. Distribución de fuerzas en la base del apoyo.

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{adm}}{p_{max}} = 6.8$$

**Base lateral**

Dimensiones del elemento

$$b := 10 \text{ mm} \quad t := 10 \text{ mm} \quad e := 5 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa}$$

$$\tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad p_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

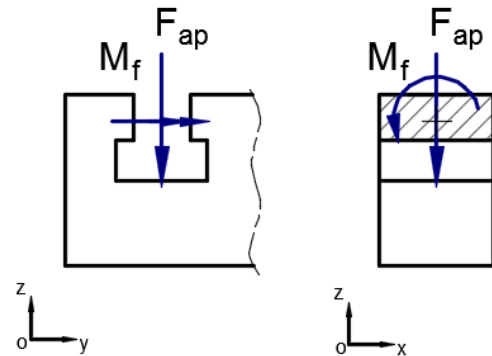


Figura 14. Fuerzas y momentos en la base lateral.

**Verificación por fluencia en torsión**

Momento generado en la sección

$$M_t := \frac{M_f}{2} = 1893 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$r_{max} := \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{e}{2}\right)^2} = 6 \text{ mm}$$

$$I_x := \frac{b \cdot e^3}{12} = 104 \text{ mm}^4 \quad I_y := \frac{b^3 \cdot e}{12} = 417 \text{ mm}^4$$

$$J := I_x + I_y = 521 \text{ mm}^4$$

Esfuerzo generado en la sección

$$\tau_t := \frac{M_t \cdot r_{max}}{J} = 20 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\tau_F}{\tau_t} = 14.8$$

### Corredera

Dimensiones del elemento

$$b := 12.5 \text{ mm} \quad h := 22 \text{ mm}$$

$$e := 8 \text{ mm} \quad d_a := 10 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa} \quad E_{acero} := 2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \nu := 0.3$$

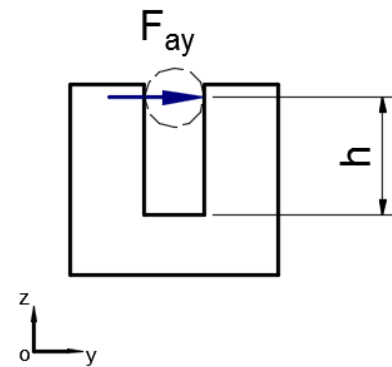


Figura 15. Fuerza en la corredera.

### Verificación por fluencia a flexión en la sección crítica

$$F_{ay} := \frac{F_{aymax}}{2} = 71 \text{ N}$$

Momento generado en la sección

$$M_f := h \cdot F_{ay} = 1570 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad I_x := \frac{e \cdot b^3}{12} = 1302 \text{ mm}^4$$

Esfuerzo de flexión

$$\sigma_f := \frac{M_f \cdot \frac{b}{2}}{I_x} = 7.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\sigma_F}{\sigma_f} = 80$$

Verificación por aplastamiento del agujero de apoyo - Presión de Hertz

$$F_{ay} = 71 \text{ N}$$

$$b := \sqrt{\left(\frac{2 \cdot F_{ay}}{\pi \cdot e}\right) \cdot \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{E_{acero}}} = 0.0222 \text{ mm}$$

$$P_{max} := \frac{2 \cdot F_{ay}}{\pi \cdot b \cdot e} = 256 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} := 0.3 \cdot P_{max} = 77 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\tau_F}{\tau_{max}} = 3.9$$

Soporte fijo

Dimensiones del elemento

$$b := 30 \text{ mm} \quad d_{ag} := 3.4 \text{ mm} \quad d_{pin} := 15 \text{ mm} \quad b_a := 30 \text{ mm}$$

$$e := 15 \text{ mm} \quad L := 140 \text{ mm} \quad e_b := 10 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

Verificación por fluencia a flexión en la sección crítica

$$F_{azf} := \frac{F_{azmax}}{2} = 1726 \text{ N}$$

Momento generado en la sección

$$M_f := F_{azf} \cdot \frac{(L - b_a)}{2} + \frac{F_{azf} \cdot b_a}{2} = 107863.1 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$I_x := \frac{b \cdot e^3}{12} - \frac{d_{ag} \cdot e^3}{12} = 7481 \text{ mm}^4 \quad A := b \cdot e = 450 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_f := \frac{M_f \cdot \frac{e}{2}}{I_x} = 108 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\sigma_F}{\sigma_f} = 5.5$$



### Verificación por aplastamiento en el agujero del pin

Fuerza de aplastamiento

$$F_{azf} := \frac{F_{azmax}}{2} = 1726 \text{ N}$$

$$A := e_b \cdot d_{pin} = 150 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo normal

$$\rho := \frac{F_{azf}}{A} = 12 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\rho_{adm}}{\rho} = 15.6$$

### Soporte móvil

Dimensiones del elemento

$$b := 30 \text{ mm} \quad d_{ag} := 3.4 \text{ mm} \quad d_{pin} := 15 \text{ mm} \quad b_a := 75 \text{ mm} \quad d_1 := 5.5 \text{ mm}$$

$$e := 10 \text{ mm} \quad L := 115 \text{ mm} \quad e_b := 10 \text{ mm} \quad d_{agb} := 3.4 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad E_{acero} := 2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

### Verificación por fluencia a flexión en la sección crítica

$$F_a := \frac{F_{amax}}{2} = 1727 \text{ N}$$

$$M_a := F_a \cdot e = 17273 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_f := \frac{\frac{L - b_a}{2} \cdot F_a}{2} + \frac{F_a \cdot \frac{b_a}{2}}{2} + M_a = 66932 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$I_x := \frac{b \cdot e^3}{12} = 2500 \text{ mm}^4 \quad A := b \cdot e = 300 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_f := \frac{M_f \cdot \frac{e}{2}}{I_x} = 134 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\sigma_F}{\sigma_f} = 4.5$$

### Verificación por aplastamiento en el agujero del pin

Fuerza de aplastamiento

$$F_a := \frac{F_{amax}}{2} = 1727 \text{ N} \quad A := e \cdot d_{pin} = 150 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo normal

$$p := \frac{F_a}{A} = 12 \text{ MPa}$$

Momento generado en el agujero

$$M_f := e \cdot F_a = 17273 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$p_{Mmax} := \frac{6 \cdot M_f}{(d_{pin}) \cdot e^2} = 69 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$p_{max} := p + p_{Mmax} = 81 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{p_{adm}}{p_{max}} = 2.2$$

### Verificación por aplastamiento en la cabeza de los tornillos

$$A_c := \frac{(d_1^2 - d_{agb}^2) \pi}{4} = 15 \text{ mm}^2$$

Factor de seguridad

$$p_c := \frac{F_a}{2 \cdot A_c} = 59 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{p_{adm}}{p_c} = 3.1$$

## Elementos de unión

### Pasador de carga

Dimensiones del elemento

$$t := 10 \text{ mm} \quad d := 10 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

Verificación por fluencia a flexión en la sección crítica

$$F_a := \frac{F_{amax}}{2} = 1727 \text{ N} \quad A := t \cdot d = 100 \text{ mm}^2$$

$$M_f := F_a \cdot \frac{t}{2} = 8636.4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_f := \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d^3} = 88 \text{ MPa}$$

$$\tau_c := \frac{F_a}{A} = 17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e := \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_c^2} = 92.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{0.7 \cdot \sigma_F}{\sigma_e} = 5$$

## Pasador de apoyo

Dimensiones del elemento

$$d := 10 \text{ mm} \quad t := 10 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

Verificación por fluencia a flexión en la sección crítica

$$F_{ap} := \frac{R_{apmax}}{2} = 379 \text{ N} \quad A := t \cdot d = 100 \text{ mm}^2$$

$$M_f := F_{ap} \cdot \frac{t}{2} = 1893 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_f := \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d^3} = 19 \text{ MPa}$$

$$\tau_c := \frac{F_a}{A} = 17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e := \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_c^2} = 35.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{0.7 \cdot \sigma_F}{\sigma_e} = 12$$

### Pasador de apófisis superior

Dimensiones del elemento

$$b := 8 \text{ mm} \quad t_1 := 5 \text{ mm} \quad d_p := 6 \text{ mm} \quad c_{ag} := 17 \text{ mm}$$

$$c_{im} := 40 \text{ mm} - 5 \text{ mm} - 6 \text{ mm} = 29 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

### Verificación por fluencia a flexión en la sección crítica

Equilibrio de fuerzas y momentos

$$\Sigma F_z = 0$$

$$F_c := \frac{F_{im}}{3} = 153 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$F_h := \frac{c_{im} \cdot F_{im}}{c_{ag}} = 781 \text{ N}$$

$$F_T := \sqrt{F_c^2 + F_h^2} = 795.8 \text{ N}$$

Esfuerzo normal

$$M_{fmax} := \frac{F_T \cdot (b + t_1)}{4} = 2587 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{fmax} := \frac{32 \cdot M_{fmax}}{\pi \cdot d_p^3} = 122 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{0.7 \cdot \sigma_F}{\sigma_{fmax}} = 3.4$$

### Verificación por fluencia a corte del pasador

$$F_c := \frac{F_T}{2} = 398 \text{ N}$$

$$\tau_c := \frac{4 \cdot F_c}{\pi \cdot d_p^2} = 14 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{0.7 \cdot \tau_F}{\tau_c} = 15$$

### Pasador de cuerpo

Dimensiones del elemento

$$d_p := 6.5 \text{ mm} \quad d_{ap} = 50 \text{ mm} \quad c_{ag} := 45 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_F := 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

### Verificación por corte del tornillo

$$F_{ap} := \frac{R_{apmax}}{2} = 379 \text{ N}$$

$$R_{cap} := \frac{F_{ap} \cdot d_{ap}}{c_{ag}} = 421 \text{ N}$$

$$F_T := \frac{F_{ap}}{2} + R_{cap} = 610 \text{ N}$$

$$\tau_c := \frac{4 \cdot F_T}{\pi \cdot d_p^2} = 18 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\tau_F}{\tau_c} = 16.7$$

### Perno - Brazo de Soporte móvil

Dimensiones del elemento

$$A_o := 5.03 \text{ mm}^2 \quad n := 2$$

Propiedades del material

Material: Acero para tornillos Clase 4.8

$$\sigma_F := 340 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 170 \text{ MPa}$$

### Verificación por fluencia a tracción de los tornillos

$$F_a := \frac{F_{amax}}{2} = 1727 \text{ N}$$

Factor de seguridad

$$\sigma_n := \frac{F_a}{n \cdot A_o} = 171698253 \text{ Pa}$$

$$FS := \frac{\sigma_F}{\sigma_n} = 2$$

## Análisis de resistencia a la fatiga

### Elementos del modelo vertebral

#### Apófisis superior

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Alt} := 370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_{admPul} := 120 \text{ MPa}$$

#### Verificación por fatiga en sección crítica

$$\sigma_{fa} := \frac{\sigma_f}{2} = 7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{fm} := \frac{\sigma_f}{2} = 7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{ca} := \frac{\tau_c}{2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_{cm} := \frac{\tau_c}{2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Flexión
$c_t := 0.77$	d = 30 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{fa} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \sigma_{fa} = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Corte
$c_t := 0.77$	d = 30 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\tau'_{ca} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \tau_{ca} = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma'_{aeq} := \sqrt{\sigma'_{fa}{}^2 + 3 \cdot (\tau'_{ca}{}^2)} = 11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{meq} := \sqrt{\sigma_{fm}{}^2 + 3 \cdot (\tau_{cm}{}^2)} = 8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{1}{\frac{\sigma'_{aeq}}{\sigma_{Alt}} + \frac{\sigma_{meq}}{\sigma_B}} = 25.6$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento del agujero

$$p := \frac{F_T}{b \cdot d_{ag}} = 25.4 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	$d = 5.5 \text{ mm}$	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$p' := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot p = 33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{admPul}}{p'} = 3.6$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento del alojamiento del implante

$$p_{im} := \frac{F_{imax}}{b \cdot a} = 5.7 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	$d = 8 \text{ mm}$	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$p'_{im} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot p_{im} = 7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{admPul}}{p'_{im}} = 16$$

### Cuerpo superior

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Alt} := 370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$p_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

$$p_{admPul} := 120 \text{ MPa}$$

### Verificación por fatiga en sección crítica

$$\sigma_{fa} := \frac{\sigma_f}{2} = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{fm} := \frac{\sigma_f}{2} = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{ca} := \frac{\tau_c}{2} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{cm} := \frac{\tau_c}{2} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Flexión
$c_t := 0.77$	$d = 30 \text{ mm}$	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{fa} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \sigma_{fa} = 2 \frac{N}{mm^2}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Corte
$c_t := 0.77$	$d = 30 \text{ mm}$	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\tau'_{ca} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \tau_{ca} = 1 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma'_{aeq} := \sqrt{\sigma'_{fa}{}^2 + 3 \cdot (\tau'_{ca}{}^2)} = 3 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma'_{meq} := \sqrt{\sigma'_{fm}{}^2 + 3 \cdot (\tau'_{cm}{}^2)} = 2 \frac{N}{mm^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{1}{\frac{\sigma'_{aeq}}{\sigma_{Alt}} + \frac{\sigma'_{meq}}{\sigma_B}} = 111.6$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento del agujero de la apófisis

$$p := \frac{F_T}{2 \cdot t_{ap} \cdot d_{ag}} = 17 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	$d = 5.5 \text{ mm}$	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$p' := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot p = 22 \frac{N}{mm^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{admPul}}{p'} = 5.5$$

**Verificación por fatiga en aplastamiento de la cavidad del resorte**

$$p := \frac{F_R}{A_R} = 4 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	d = 5.5 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$p' := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot p = 5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{admPul}}{p'} = 24.9$$

**Verificación por fatiga en aplastamiento del agujero del tornillo**

$$p_{max} := p + p_{Mmax} = 41 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.95$	Afinado	$c_{carga} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	d = 5.5 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$p'_{max} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot p_{max} = 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{admPul}}{p'_{max}} = 2.4$$

## Elementos de la estructura del dispositivo

### Placa lateral

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad E_{\text{acero}} := 2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa} \quad \sigma_{Alt} := 370 \text{ MPa} \quad \tau_{tPul} := 260 \text{ MPa} \quad \nu := 0.3$$

### Verificación por fatiga en sección crítica

$$\sigma_{fa} := \frac{\sigma_f}{2} = 8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{fm} := \frac{\sigma_f}{2} = 8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{ca} := \frac{\tau_c}{2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_{cm} := \frac{\tau_c}{2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$c_s := 0.85$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Flexión
$c_t := 0.83$	d = 20 mm	$c_c := 1$	Confiability 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{fa} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \sigma_{fa} = 11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$c_s := 0.85$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Corte
$c_t := 0.83$	d = 30 mm	$c_c := 1$	Confiability 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\tau'_{ca} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \tau_{ca} = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma'_{aeq} := \sqrt{\sigma'_{fa}{}^2 + 3 \cdot (\tau'_{ca}{}^2)} = 12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{meq} := \sqrt{\sigma_{fm}{}^2 + 3 \cdot (\tau_{cm}{}^2)} = 8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{1}{\frac{\sigma'_{aeq}}{\sigma_{Alt}} + \frac{\sigma_{meq}}{\sigma_B}} = 23.7$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento de la unión con cuerpo superior

$$p := \frac{F_T}{A} = 10 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.85$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	$d = 6.5 \text{ mm}$	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$p' := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot p = 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{admPul}}{p'} = 8.5$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento del agujero de apoyo - Presión de Hertz

$$T_{max} := 0.3 \cdot P_{max} = 158 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.85$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Corte
$c_t := 1$	$d = 10 \text{ mm}$	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$T'_{max} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot T_{max} = 186 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{T_{tPul}}{T'_{max}} = 1.4$$

### Apoyo lateral

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad p_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Alt} := 370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad p_{admPul} := 120 \text{ MPa}$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento del agujero del pin

$$p_{max} := p + p_{Mmax} = 27 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.90$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	$d = 10 \text{ mm}$	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$p'_{max} := \left( \frac{\beta_k}{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp} \cdot C_{carga} \cdot C_c} \right) \cdot p_{max} = 35 \frac{N}{mm^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{admPul}}{p'_{max}} = 3.5$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento del agujero del pin

$$p_{max} := p + p_{Mmax} = 27 \text{ MPa}$$

$C_s := 0.90$	Desbastado - Torneado fino	$C_{carga} := 0.85$	Axial
$C_t := 1$	d = 10 mm	$C_c := 1$	Confiabilidad 50%
$C_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$p'_{max} := \left( \frac{\beta_k}{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp} \cdot C_{carga} \cdot C_c} \right) \cdot p_{max} = 35 \frac{N}{mm^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{p_{admPul}}{p'_{max}} = 3.5$$

### Base lateral

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad \sigma_{Alt} := 370 \frac{N}{mm^2} \quad \tau_{tAdmPuls} := 260 \text{ MPa}$$

$$p_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

### Verificación por fatiga en torsión

$$\tau_t := \frac{M_t \cdot r_{max}}{J} = 20 \text{ MPa}$$

$C_s := 0.90$	Desbastado - Torneado fino	$C_{carga} := 1$	Torsión
$C_t := 1$	d = 6 mm	$C_c := 1$	Confiabilidad 50%
$C_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\tau'_t := \left( \frac{\beta_k}{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp} \cdot C_{carga} \cdot C_c} \right) \cdot \tau_t = 23 \frac{N}{mm^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\tau_{tAdmPuls}}{\tau'_t} = 12$$

## Corredera

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad T_{tAdmPuls} := 260 \text{ MPa}$$

$$p_{adm} := 180 \text{ MPa} \quad E_{acero} := 2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \nu := 0.3 \quad \sigma_{Alt} := 370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Verificación por fatiga a flexión en la sección crítica

$$\sigma_f := \frac{M_f \cdot \frac{b}{2}}{I_x} = 7.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$c_s := 0.90$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Flexión
$c_t := 0.96$	d = 6 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_f := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \sigma_f = 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{T_{tAdmPuls}}{\sigma'_f} = 30$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento del agujero de apoyo - Presión de Hertz

$$T_{max} := 0.3 \cdot P_{max} = 77 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.90$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Corte
$c_t := 1$	d = 10 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$T'_{max} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot T_{max} = 85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{T_{tAdmPuls}}{T'_{max}} = 3$$

## Soporte fijo

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad \sigma_{Alt} := 370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

## Verificación por fatiga a flexión en la sección crítica

$$\sigma_i := \frac{M_i \cdot \frac{e}{2}}{I_x} = 14 \text{ MPa} \quad \sigma_f := \frac{M_f \cdot \frac{e}{2}}{I_x} = 108 \text{ MPa} \quad \sigma_s := \sigma_f = 108 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fa} := \frac{\sigma_s - \sigma_i}{2} = 47 \text{ MPa} \quad \sigma_{fm} := \frac{\sigma_s + \sigma_i}{2} = 61 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Flexión
$c_t := 1$	d = 30 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{fa} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \sigma_{fa} = 53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{1}{\frac{\sigma'_{fa}}{\sigma_{Alt}} + \frac{\sigma_{fm}}{\sigma_B}} = 4.6$$

## Verificación por fatiga en aplastamiento del agujero del pin

$$\rho := \frac{F_{azf}}{A} = 12 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	d = 5.5 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\rho' := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \rho = 15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\rho_{admPul}}{\rho'} = 8$$

## Soporte móvil

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad E_{\text{acero}} := 2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \nu := 0.3$$

$$\rho_{\text{adm}} := 180 \text{ MPa} \quad \sigma_{\text{Alt}} := 370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_{\text{tPul}} := 260 \text{ MPa} \quad \rho_{\text{admAlt}} := 70 \text{ MPa}$$

### Verificación por fatiga a flexión en la sección crítica

$$\sigma_i := \frac{M_i \cdot e}{I_x} = 17 \text{ MPa} \quad \sigma_f := \frac{M_f \cdot e}{I_x} = 134 \text{ MPa} \quad \sigma_s := \sigma_f = 134 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fa} := \frac{\sigma_s - \sigma_i}{2} = 59 \text{ MPa} \quad \sigma_{fm} := \frac{\sigma_s + \sigma_i}{2} = 75 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{\text{carga}} := 1$	Flexión
$c_t := 1$	d = 30 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{\text{temp}} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{fa} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{\text{temp}} \cdot c_{\text{carga}} \cdot c_c} \right) \cdot \sigma_{fa} = 65 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{1}{\frac{\sigma'_{fa}}{\sigma_{\text{Alt}}} + \frac{\sigma_{fm}}{\sigma_B}} = 3.7$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento del agujero del pin

$$\rho_i := \rho_{\text{maxo}} = 10 \text{ MPa} \quad \rho_s := \rho_{\text{max}} = 81 \text{ MPa}$$

$$\rho_a := \frac{\rho_s - \rho_i}{2} = 35 \text{ MPa} \quad \rho_m := \frac{\rho_s + \rho_i}{2} = 45 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{\text{carga}} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	d = 15 mm	$c_c := 1$	Confiabilidad 50%
$c_{\text{temp}} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas



$$p'_a := \left( \frac{\beta_k}{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp} \cdot C_{carga} \cdot C_c} \right) \cdot p_a = 46 \frac{N}{mm^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{1}{\frac{p'_a}{p_{admAlt}} + \frac{p_m}{\sigma_B}} = 1.4$$

### Verificación por fatiga en aplastamiento de la cabeza de los tornillos

$$p_i := p_o = 7 \text{ MPa}$$

$$p_s := p_c = 59 \text{ MPa}$$

$$p_a := \frac{p_s - p_i}{2} = 26 \text{ MPa}$$

$$p_m := \frac{p_s + p_i}{2} = 33 \text{ MPa}$$

$$C_s := 0.9$$

Desbastado - Torneado fino

$$C_{carga} := 0.85$$

Axial

$$C_t := 1$$

d = 5.1 mm

$$C_c := 1$$

Confiabilidad 50%

$$C_{temp} := 1$$

Temperatura menor a 250°

$$\beta_k := 1$$

Sin entallas

$$p'_a := \left( \frac{\beta_k}{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp} \cdot C_{carga} \cdot C_c} \right) \cdot p_a = 34 \frac{N}{mm^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{1}{\frac{p'_a}{p_{admAlt}} + \frac{p_m}{\sigma_B}} = 1.9$$

## Elementos de unión

### Pasador de carga

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{acero}} := 2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \nu := 0.3$$

$$\rho_{\text{adm}} := 180 \text{ MPa} \quad \sigma_{\text{Alt}} := 370 \text{ MPa} \quad \tau_{\text{tPul}} := 260 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{admAlt}} := 70 \text{ MPa}$$

### Verificación por fatiga en sección crítica

$$\sigma_i := \frac{32 \cdot M_i}{\pi \cdot d^3} = 22 \text{ MPa} \quad \sigma_f := \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d^3} = 88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s := \sigma_f$$

$$\sigma_{fa} := \frac{\sigma_s - \sigma_i}{2} = 33 \text{ MPa} \quad \sigma_{fm} := \frac{\sigma_s + \sigma_i}{2} = 55 \text{ MPa}$$

$$\tau_s := \tau_c \quad \tau_l := \tau_{ci}$$

$$\tau_{ca} := \frac{\tau_s - \tau_l}{2} = 6 \text{ MPa} \quad \tau_{cm} := \frac{\tau_s + \tau_l}{2} = 11 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{\text{carga}} := 1$	Flexión
$c_t := 1$	d = 15 mm	$c_c := 1$	Confianza 50%
$c_{\text{temp}} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{fa} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{\text{temp}} \cdot c_{\text{carga}} \cdot c_c} \right) \cdot \sigma_{fa} = 37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{\text{carga}} := 1$	Corte
$c_t := 0.77$	d = 30 mm	$c_c := 1$	Confianza 50%
$c_{\text{temp}} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\tau'_{ca} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{\text{temp}} \cdot c_{\text{carga}} \cdot c_c} \right) \cdot \tau_{ca} = 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma'_{\text{aeq}} := \sqrt{\sigma'_{fa}{}^2 + 3 \cdot (\tau'_{ca}{}^2)} = 40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$\sigma_{\text{meq}} := \sqrt{\sigma_{fm}{}^2 + 3 \cdot (\tau_{cm}{}^2)} = 58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$FS := \frac{1}{\frac{\sigma'_{\text{aeq}}}{0.7 \sigma_{\text{Alt}}} + \frac{\sigma_{\text{meq}}}{0.7 \sigma_B}} = 3.9$$

## Pasador de apoyo

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$p_{adm} := 180 \text{ MPa} \quad \sigma_{Alt} := 370 \text{ MPa}$$

### Verificación por fatiga a flexión en la sección crítica

$$\sigma_{fa} := \frac{\sigma_f}{2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{fm} := \frac{\sigma_f}{2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{ca} := \frac{\tau_c}{2} = 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{cm} := \frac{\tau_c}{2} = 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$c_s := 0.85$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Flexión
$c_t := 0.83$	d = 20 mm	$c_c := 1$	Confianza 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{fa} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \sigma_{fa} = 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$c_s := 0.85$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Corte
$c_t := 0.83$	d = 30 mm	$c_c := 1$	Confianza 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\tau'_{ca} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \tau_{ca} = 12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma'_{aeq} := \sqrt{\sigma'_{fa}{}^2 + 3 \cdot (\tau'_{ca}{}^2)} = 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma'_{meq} := \sqrt{\sigma_{fm}{}^2 + 3 \cdot (\tau_{cm}{}^2)} = 18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{1}{\frac{\sigma'_{aeq}}{0.7 \sigma_{Alt}} + \frac{\sigma'_{meq}}{0.7 \sigma_B}} = 7.7$$

### Pasador de apófisis superior

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad \sigma_{fAlt} := 250 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 180 \text{ MPa} \quad \sigma_{fPuls} := 500 \text{ MPa}$$

### Verificación por fatiga a flexión en la sección crítica

$$\sigma_{fmax} := \frac{32 \cdot M_{fmax}}{\pi \cdot d_p^3} = 158 \text{ MPa}$$

$C_s := 0.87$	Desbastado - Torneado fino	$C_{carga} := 1$	Flexión
$C_t := 1$	d = 5 mm	$C_c := 1$	Confiabilidad 50%
$C_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{fpul} := \left( \frac{\beta_k}{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp} \cdot C_{carga} \cdot C_c} \right) \cdot \sigma_{fmax} = 182 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{\sigma_{fPuls}}{\sigma'_{fpul}} = 2.7$$

### Verificación por fatiga a cortante del pasador

$$F_c := \frac{F_T}{2} = 398 \text{ N} \quad \tau_c := \frac{4 \cdot F_c}{\pi \cdot d_p^2} = 17 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ca} := \frac{\tau_c}{2} = 8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_{cm} := \frac{\tau_c}{2} = 8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$C_s := 0.87$	Desbastado - Torneado fino	$C_{carga} := 1$	Flexión
$C_t := 1$	d = 5 mm	$C_c := 1$	Confiabilidad 50%
$C_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 3$	Sin entallas

$$\sigma'_{Alt} := \left( \frac{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp} \cdot C_{carga} \cdot C_c}{\beta_k} \right) \cdot \sigma_{Alt} = 107 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau'_{Alt} := 0.577 \cdot \sigma'_{Alt} \quad \tau_B := 0.75 \sigma_B = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad

$$FS := \frac{1}{\frac{\tau_{ca}}{\tau'_{Alt}} + \frac{\tau_{cm}}{\tau_B}} = 6.7$$

## Pasador de cuerpo

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$\sigma_B := 800 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 600 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 300 \text{ MPa} \quad \sigma_{Alt} := 370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \rho_{adm} := 180 \text{ MPa}$$

### Verificación por fatiga en cortante de tornillos

$$\tau_c := \frac{4 \cdot F_T}{\pi \cdot d_p^2} = 18 \text{ MPa} \quad \tau_{ca} := \frac{\tau_c}{2} = 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_{cm} := \frac{\tau_c}{2} = 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 1$	Flexión
$c_t := 1$	d = 5 mm	$c_c := 1$	Confiability 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{Alt} := \left( \frac{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c}{\beta_k} \right) \cdot \sigma_{Alt} = 333 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Factor de seguridad}$$

$$\tau'_{Alt} := 0.577 \cdot \sigma'_{Alt} \quad \tau_B := 0.75 \sigma_B = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad FS := \frac{1}{\frac{\tau_{ca}}{\tau'_{Alt}} + \frac{\tau_{cm}}{\tau_B}} = 15.8$$

## Perno - Brazo de Soporte móvil

Propiedades del material

Material: Acero para tornillos Clase 4.8

$$\sigma_B := 420 \text{ MPa} \quad \sigma_F := 340 \text{ MPa} \quad \tau_F := \frac{\sigma_F}{2} = 170 \text{ MPa} \quad \sigma_{Alt} := 180 \text{ MPa}$$

$$\rho_{adm} := 85 \text{ MPa} \quad \sigma_{nPul} := 300 \text{ MPa}$$

### Verificación por fatiga de los tornillos a tracción

$$\sigma_n := \frac{F_a}{n \cdot A_o} = 172 \text{ MPa}$$

$c_s := 0.9$	Desbastado - Torneado fino	$c_{carga} := 0.85$	Axial
$c_t := 1$	d = 5 mm	$c_c := 1$	Confiability 50%
$c_{temp} := 1$	Temperatura menor a 250°	$\beta_k := 1$	Sin entallas

$$\sigma'_{npul} := \left( \frac{\beta_k}{c_s \cdot c_t \cdot c_{temp} \cdot c_{carga} \cdot c_c} \right) \cdot \sigma_n = 224 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Factor de seguridad}$$

$$FS := \frac{\sigma_{nPul}}{\sigma'_{fpul}} = 1.6$$

## Análisis de los resortes

Verificación por fatiga en torsión

$$D_m := 15 \text{ mm} \quad F_R := \frac{R_{2max}}{2} = 694 \text{ N}$$

$$d_w := 4.2 \text{ mm} \quad F_{Ro} := \frac{R_{ro}}{2} = 108 \text{ N}$$

$$J := \frac{d_w^4}{6} = 52 \text{ mm}^4 \quad k_R := 1$$

$$T_{Alt} := \frac{3962 \text{ kgf}}{(d_w)^{0.15} \cdot \text{cm}^{1.85}} = 442.5 \text{ MPa} \quad T_B := \frac{13790 \text{ kgf}}{(d_w)^{0.166} \cdot \text{cm}^{1.834}} = 1561.8 \text{ MPa}$$

$$M_{TR} := F_R \cdot \frac{D_m}{2} = 5202.9 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad M_{TRo} := F_{Ro} \cdot \frac{D_m}{2} = 810 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$T_{sk} := \frac{k_R \cdot M_{TR} \cdot d_w \cdot \sqrt{2}}{J} = 595.9 \text{ MPa}$$

$$T_{ik} := \frac{k_R \cdot M_{TRo} \cdot d_w \cdot \sqrt{2}}{J} = 92.8 \text{ MPa}$$

$$T_{ak} := \frac{T_{sk} - T_{ik}}{2} = 252 \text{ MPa} \quad T_{mk} := \frac{T_{sk} + T_{ik}}{2} = 344 \text{ MPa}$$

$$FS_R := \frac{1}{\frac{T_{ak}}{T_{Alt}} + \frac{T_{mk}}{T_B}} = 1.3$$

## Análisis de rigidez

### Elementos del modelo vertebral

#### Apófisis superior

Dimensiones del elemento

$$c_{im} = 29 \text{ mm} \quad b := 8 \text{ mm}$$

$$b := 8 \text{ mm} \quad h := 30 \text{ mm}$$

$$d_{ag} := 4.5 \text{ mm} \quad c_{ag} := 17 \text{ mm}$$

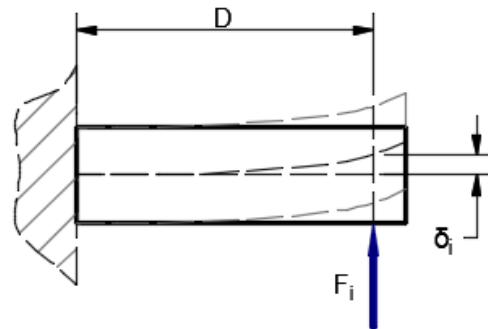


Figura 16. Deflexión de la apófisis superior.

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$E_{acero} := 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Cálculo de la deflexión

$$F_{imax} = 458 \text{ N}$$

$$I_x := \frac{b \cdot h^3}{12} - 2 \cdot \left( \frac{b \cdot d_{ag}^3}{12} + b \cdot d_{ag} \cdot \left( \frac{c_{ag}}{2} \right)^2 \right) = 12677 \text{ mm}^4$$

$$\delta_{as} := \frac{F_{imax} \cdot c_{im}^3}{3 \cdot E_{acero} \cdot I_x} = 0.0015 \text{ mm}$$

## Elementos de la estructura del dispositivo

### Soporte móvil

Dimensiones del elemento

$$b := 30 \text{ mm} \quad L := 115 \text{ mm} \quad L_1 := 40 \text{ mm}$$

$$e := 10 \text{ mm} \quad b_a := 75 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$E_{\text{acero}} := 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Cálculo de la deformación por flexión

$$F_a := \frac{F_{\text{amax}}}{2} = 1727 \text{ N}$$

$$A := b \cdot e = 300 \text{ mm}^2$$

$$I_x := \frac{b \cdot e^3}{12} = 2500 \text{ mm}^4$$

$$d := \frac{L - b_a}{2}$$

$$\delta_{\text{smf}} := \frac{F_a \cdot d^3}{3 \cdot E_{\text{acero}} \cdot I_x} = 0.0092 \text{ mm}$$

### Cálculo de la deformación por compresión

$$F_a := \frac{F_{\text{amax}}}{2} = 1727 \text{ N}$$

$$A := b \cdot e = 300 \text{ mm}^2$$

$$\delta_{\text{smc}} := \frac{F_a \cdot L_1}{E_{\text{acero}} \cdot A} = 0.0012 \text{ mm}$$

### Soporte fijo

Dimensiones del elemento

$$b := 30 \text{ mm} \quad L := 140 \text{ mm}$$

$$e := 15 \text{ mm} \quad L_1 := 55 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$E_{\text{acero}} := 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



### Cálculo de la deformación por flexión

$$F_a := \frac{F_{amax}}{2} = 1727 \text{ N} \quad A := b \cdot e = 450 \text{ mm}^2$$

$$I_x := \frac{b \cdot e^3}{12} = 8438 \text{ mm}^4 \quad d := \frac{L - b_a}{2}$$

$$\delta_{sff} := \frac{F_a \cdot d^3}{3 \cdot E_{acero} \cdot I_x} = 0.0117 \text{ mm}$$

### Cálculo de la deformación por compresión

$$F_a := \frac{F_{amax}}{2} = 1727 \text{ N} \quad A := b \cdot e = 450 \text{ mm}^2$$

$$\delta_{sfc} := \frac{F_a \cdot L_1}{E_{acero} \cdot A} = 0.0011 \text{ mm}$$

### Apoyo lateral

Dimensiones del elemento

$$b := 20 \text{ mm} \quad e := 10 \text{ mm} \quad L_1 := 30 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$E_{acero} := 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Cálculo de la deformación por compresión

$$F := \frac{R_{ap}}{2} = 379 \text{ N} \quad A := e \cdot b = 200 \text{ mm}^2$$

$$\delta_{al} := \frac{F \cdot L_1}{E_{acero} \cdot A} = 0.00028 \text{ mm}$$

### Placa lateral

Dimensiones del elemento

$$b := 10 \text{ mm} \quad h := 20 \text{ mm} \quad D := 22.5 \text{ mm}$$

Propiedades del material

Material: Acero inoxidable martensítico AISI 431

$$E_{acero} := 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Cálculo de la deformación por flexión

$$F := \frac{R_{ap}}{2} = 379 \text{ N} \quad I_x := \frac{b \cdot h^3}{12} = 6667 \text{ mm}^4 \quad \delta_{pl} := \frac{F \cdot D^3}{3 \cdot E_{acero} \cdot I_x} = 0.0011 \text{ mm}$$

### Deformación total del dispositivo

#### Cálculo de la deformación total

Por superposición de deformaciones

$$\delta_{total} := \delta_{sff} + \delta_{sfc} - \delta_{smf} - \delta_{smc} + \delta_{pl} + \delta_{al} + \delta_{as} = 0.005 \text{ mm}$$

