

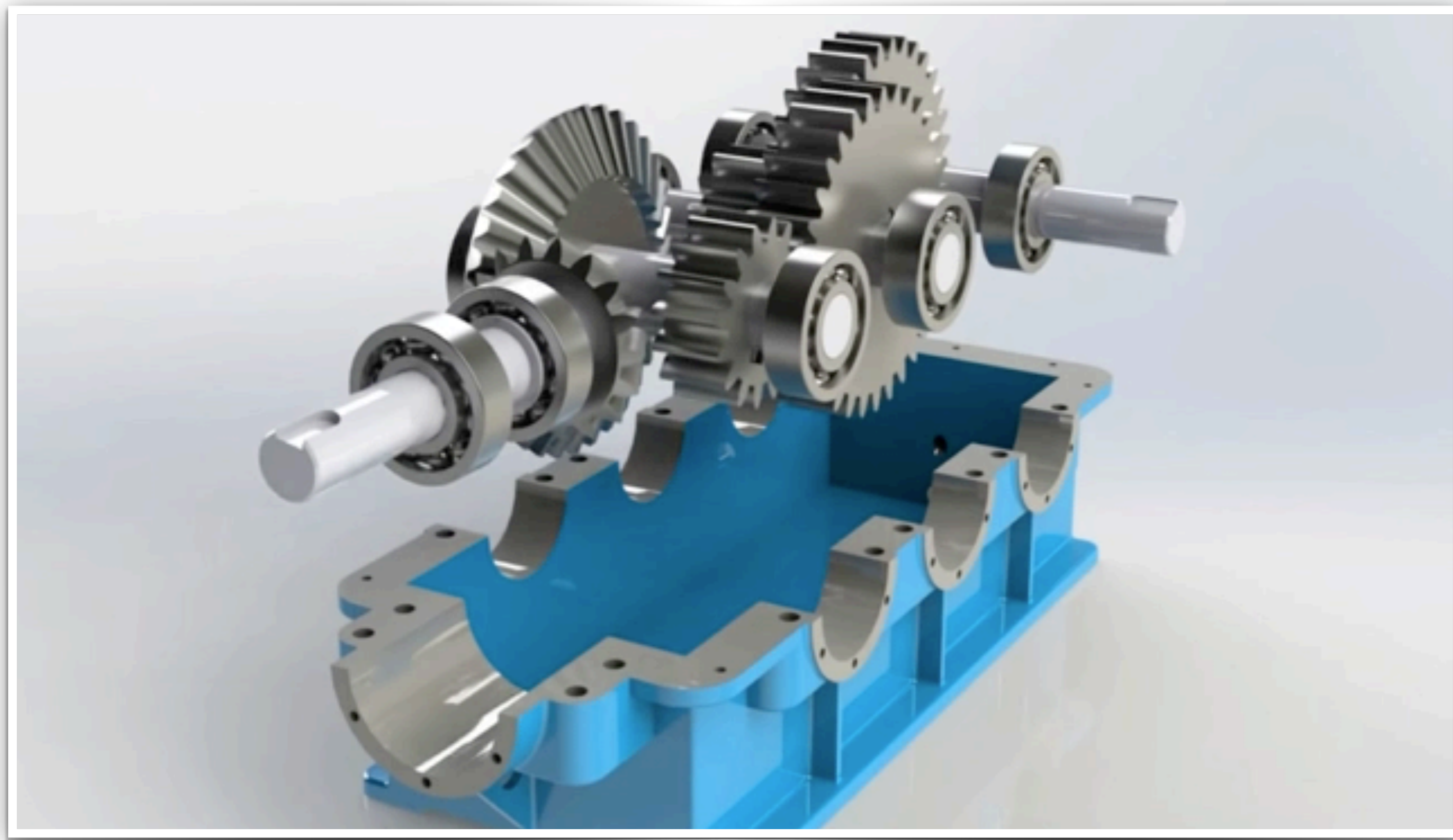
Objetivos principales del estudio de fatiga:

Conociendo una pieza o elemento de maquina sometido a cargas variables:

- 1- **Verificar** el factor de seguridad MINIMO en la pieza (mas comprometido), comparando el esfuerzo admisible del material con el esfuerzo aplicado.
- 2- **Analizar** las posibilidades de modificación de la pieza para aumentar el factor de seguridad

EJEMPLO DE INTERPRETACIÓN 1

Arboles pertenecientes a reductor de engranajes rectos de 4 etapas



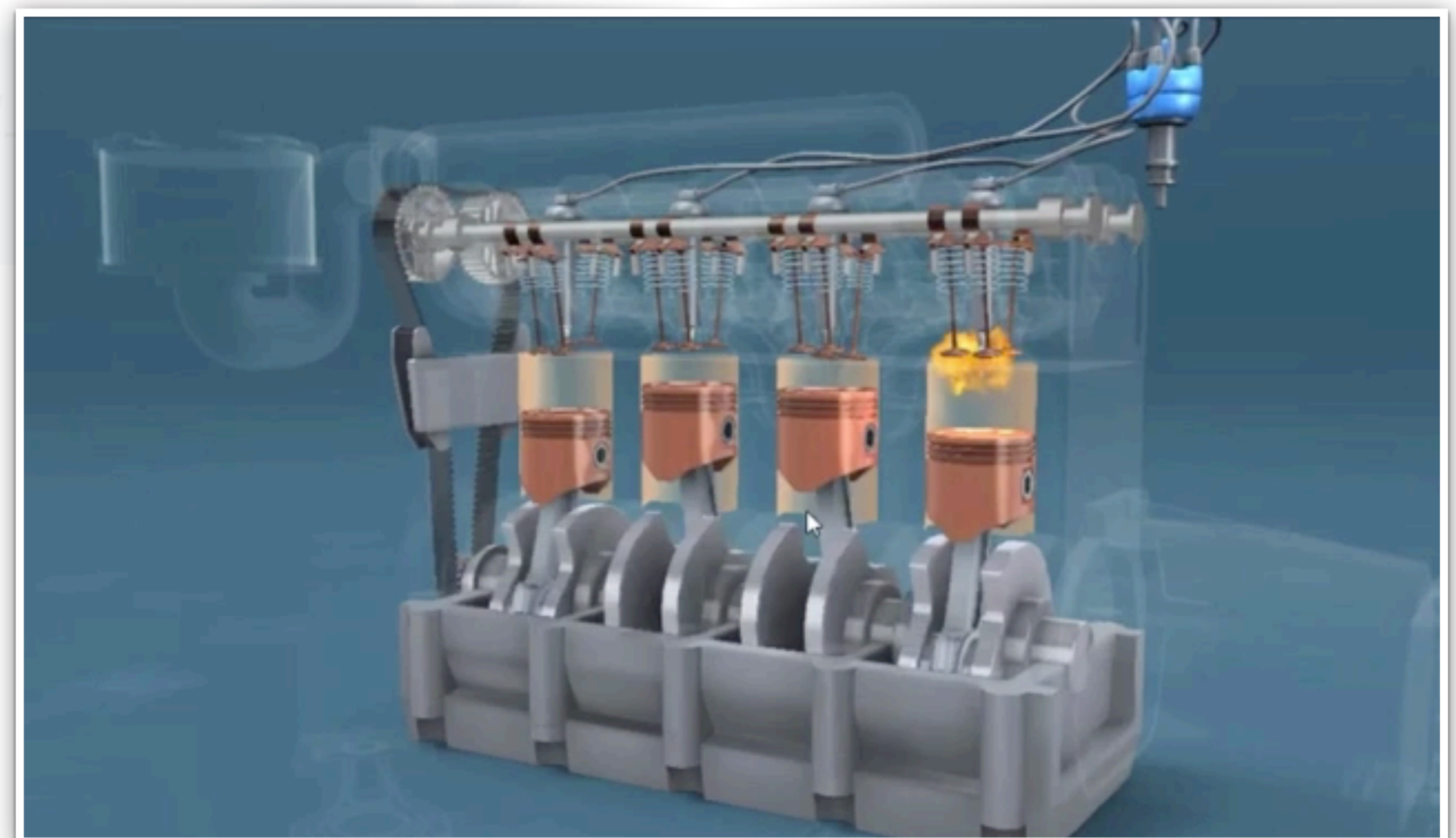
EJEMPLO DE INTERPRETACIÓN 2

Barras de bombeo y bielas de unidad de bombeo



EJEMPLO DE INTERPRETACIÓN 3

Motor de combustión interna



Objetivos principales del estudio de fatiga:

Conociendo una pieza o elemento de maquina sometido a cargas variables:

1- **Verificar** el factor de seguridad MINIMO en la pieza (mas comprometido), comparando el esfuerzo admisible del material con el esfuerzo aplicado.

2- **Analizar** las posibilidades de modificación de la pieza para aumentar el factor de seguridad

2- CALCULO DE LOS ESFUERZOS SIMPLES

El esfuerzo medio:

(Representa el valor medio entre la tensión máxima y la mínima)

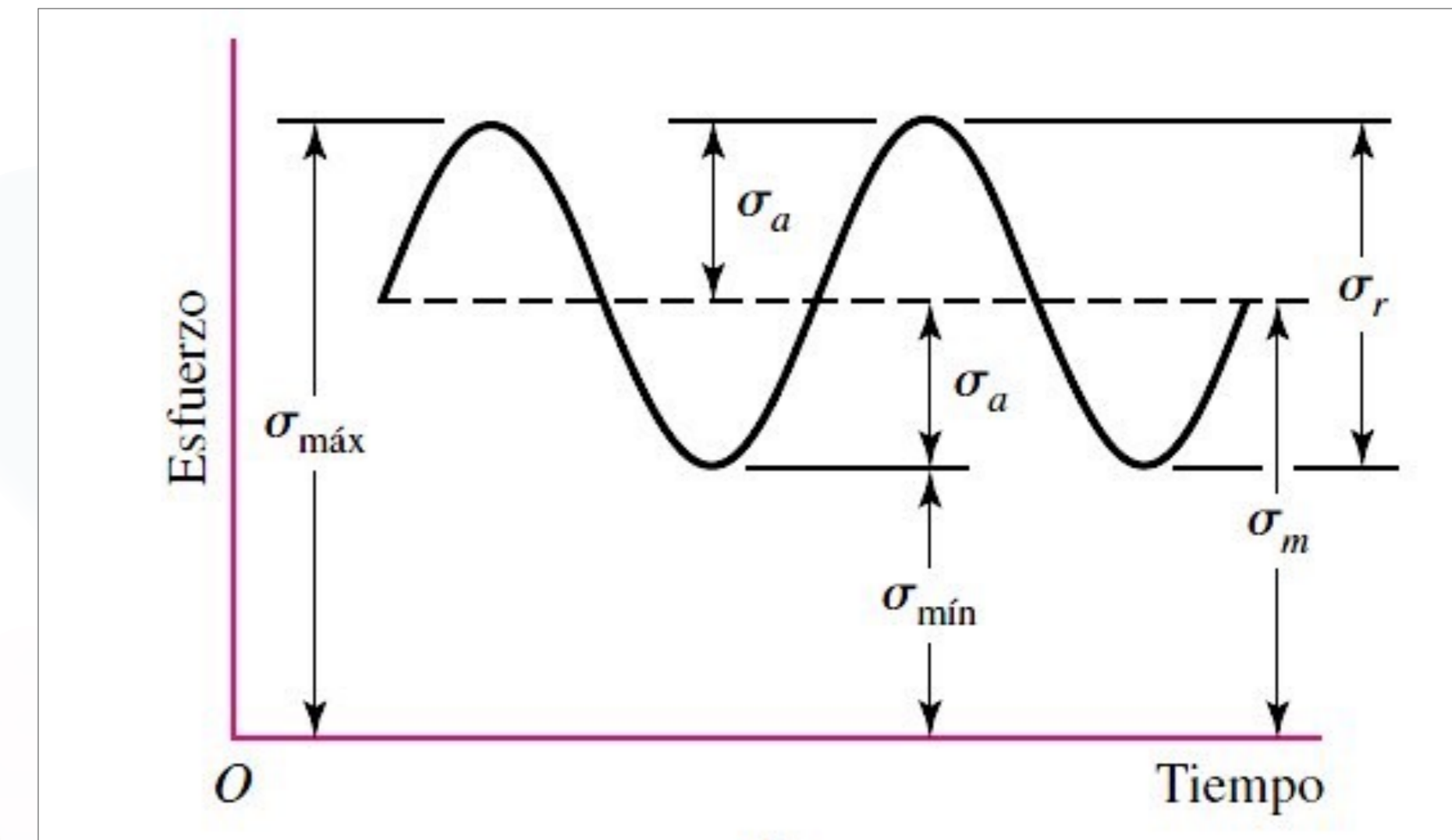
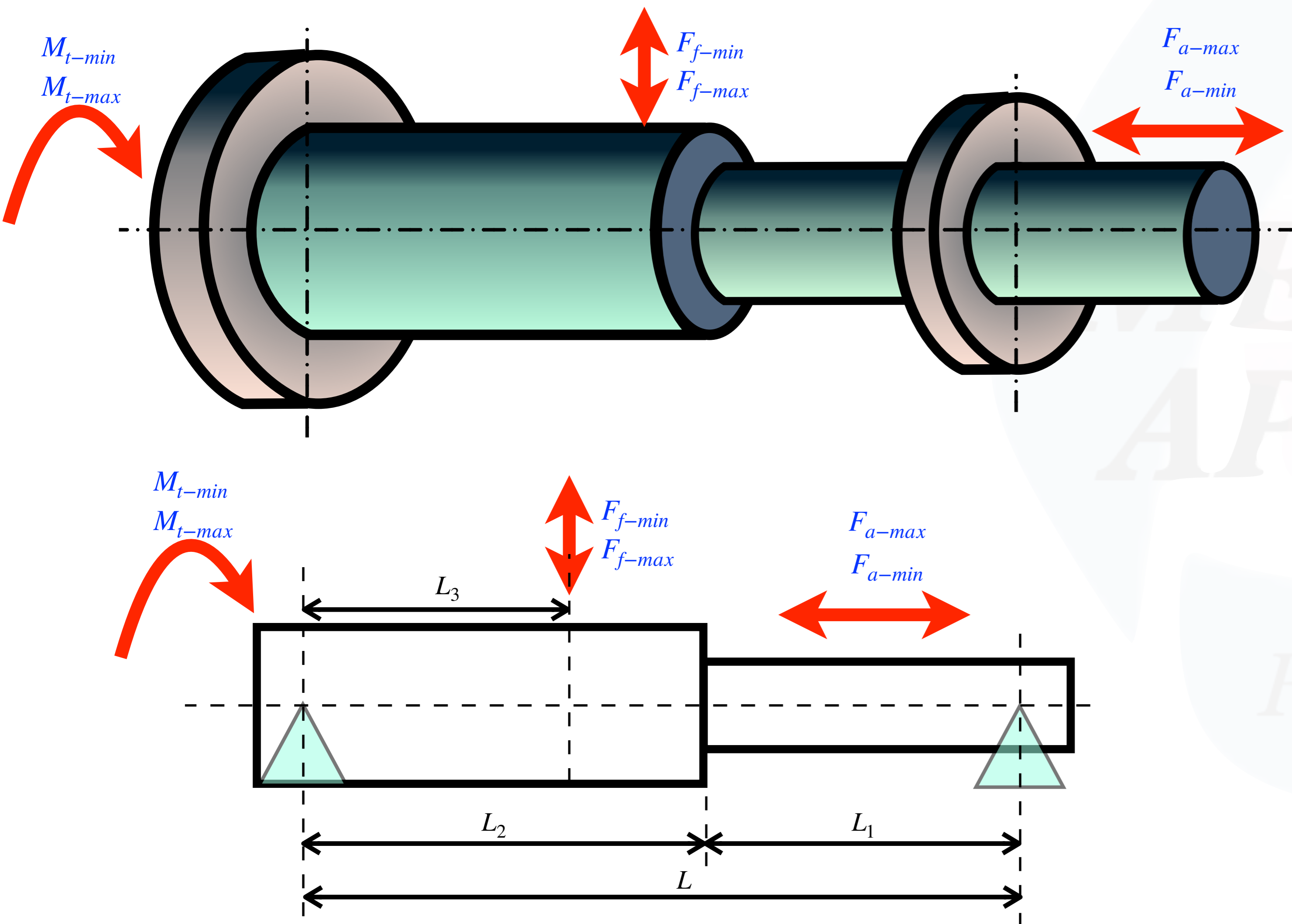
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

La amplitud del esfuerzo:

(Representa el semi ciclo de la pulsación)

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right|$$

1- Simplificación de la pieza, e identificación de sollicitaciones



3- Tipos de Esfuerzos según la dirección de la fuerza

- Sollicitación AXIAL: Provoca tensiones normales
- Sollicitación transversal (FLEXION): Provoca tensiones normales
- Sollicitación de torsión: Provoca tensiones cortantes

Ya que los 3 esfuerzos anteriores pueden ser variables todos o alguno de ellos, el total de esfuerzos a considerar en el caso mas general son 6:

	AXIAL	FLEXION	TORSION
Mínimo	$F_{ax-min} \rightarrow \sigma_{ax-min}$	$F_{f-min} \rightarrow M_{f-min} \rightarrow \sigma_{f-min}$	$M_{t-min} \rightarrow \tau_{min}$
Maximo	$F_{ax-max} \rightarrow \sigma_{ax-max}$	$F_{f-max} \rightarrow M_{f-max} \rightarrow \sigma_{f-max}$	$M_{t-max} \rightarrow \tau_{max}$

Los esfuerzos a considerar para la verificación son los MEDIOS y ALTERNANTES, entonces:

	AXIAL	FLEXION	TORSION
MEDIO	σ_{ax-m}	σ_{f-m}	τ_m
ALTERNANTE	σ_{ax-a}	σ_{f-a}	τ_a

EJEMPLO 1 CALCULO DE LOS ESFUERZOS SIMPLES

El esfuerzo medio:

(Representa el valor medio entre la tensión máxima y la mínima)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

La amplitud del esfuerzo:

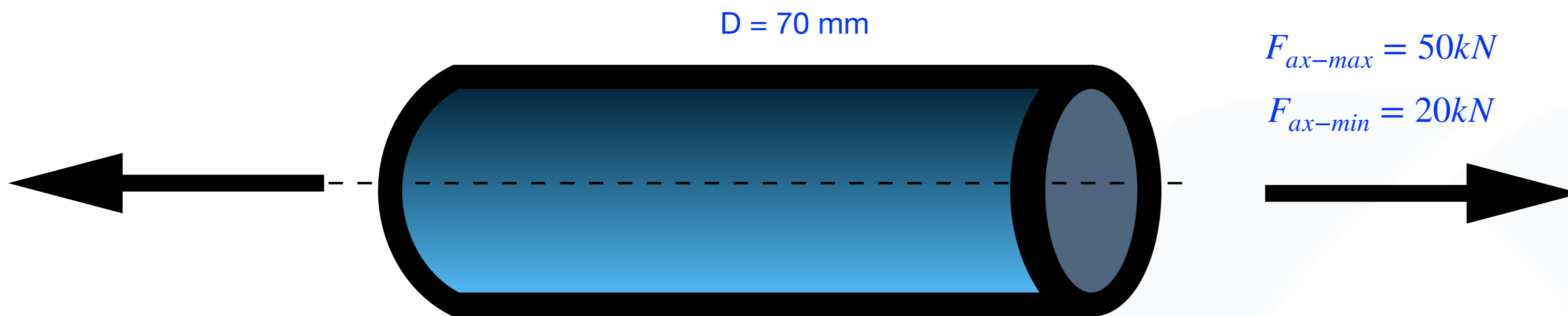
(Representa el semi ciclo de la pulsación)

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right|$$

Tensiones PARA TRACCION y COMPRESION en una barra cilíndrica:

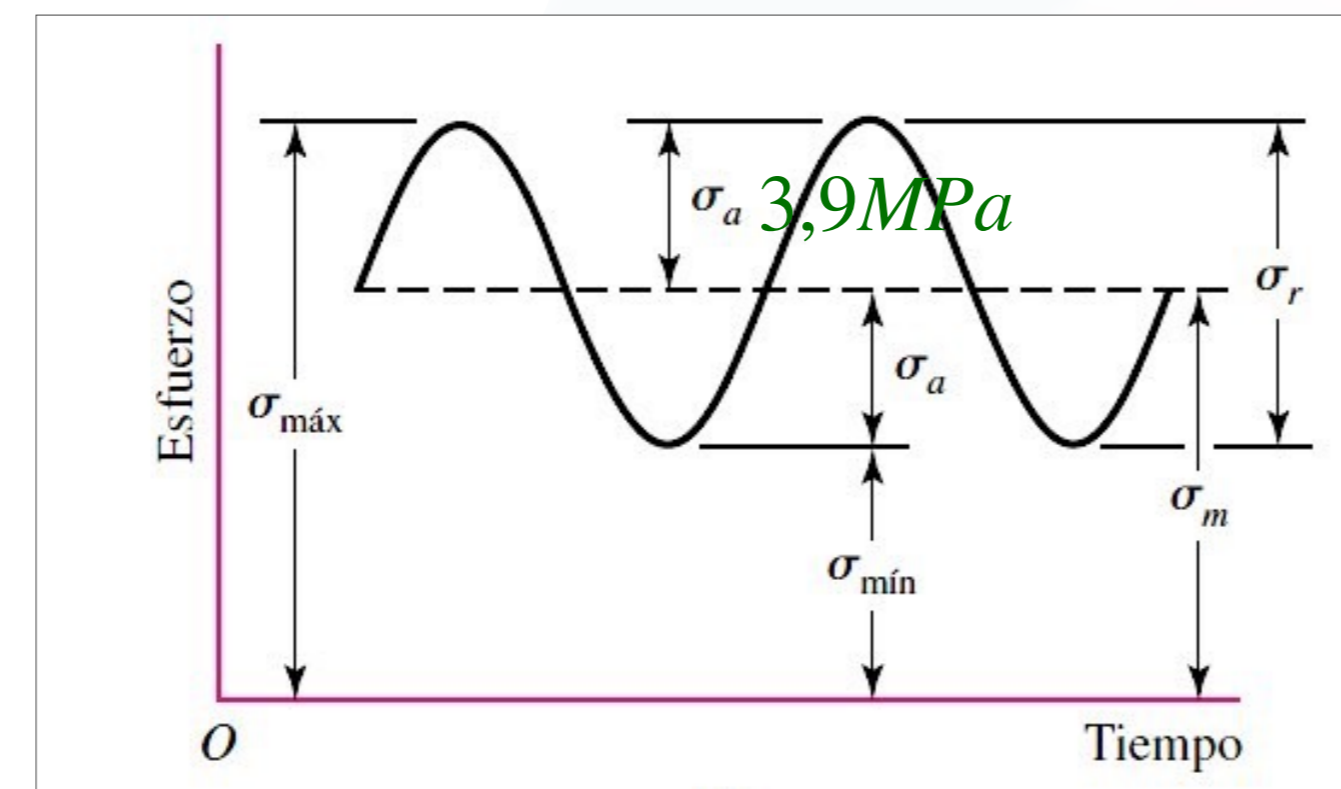
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad A = \frac{\pi * (70mm)^2}{4}$$

$$A = 3848mm^2$$



$$\sigma_{ax-max} = \frac{F_{ax-max}}{A} = \frac{50000N}{3848mm^2} = 13MPa$$

$$\sigma_{ax-min} = \frac{F_{ax-min}}{A} = \frac{20000N}{3848mm^2} = 5,2MPa$$



13MPa

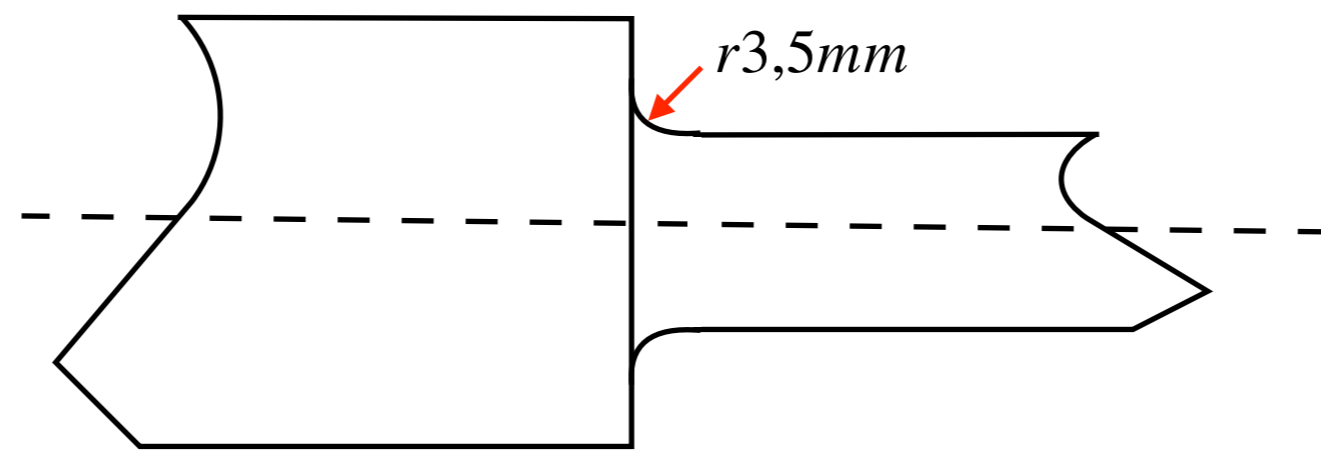
9,1MPa

5,2MPa

$$\sigma_{ax-m} = \frac{13MPa + 5,2Mpa}{2} = 9,1Mpa$$

$$\sigma_{ax-a} = \left| \frac{13MPa - 5,2MPa}{2} \right| = 3,9MPa$$

EJEMPLO 2



El esfuerzo medio:

(Representa el valor medio entre la tensión máxima y la mínima)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

La amplitud del esfuerzo:

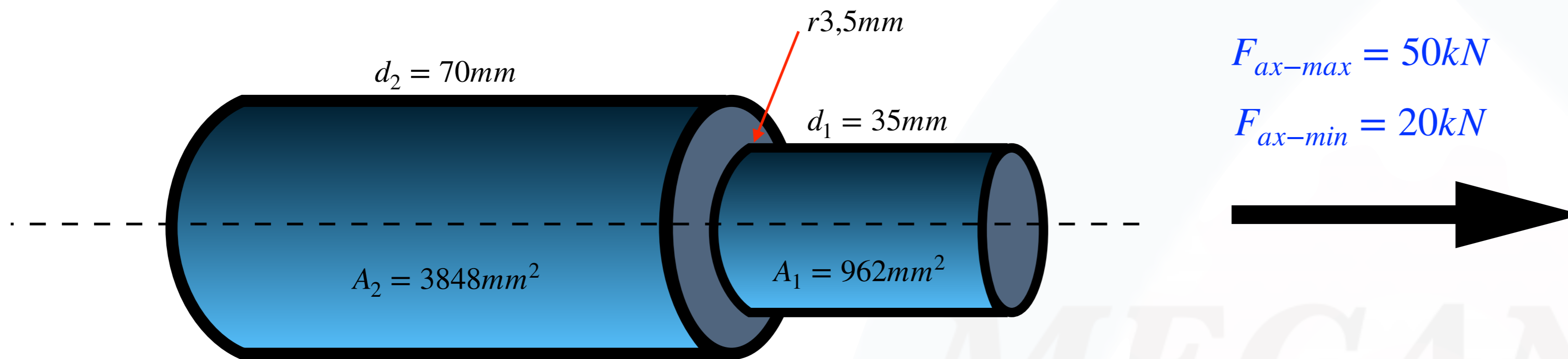
(Representa el semi ciclo de la pulsación)

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right|$$

Tensiones PARA TRACCION y COMPRESION en una barra cilíndrica:

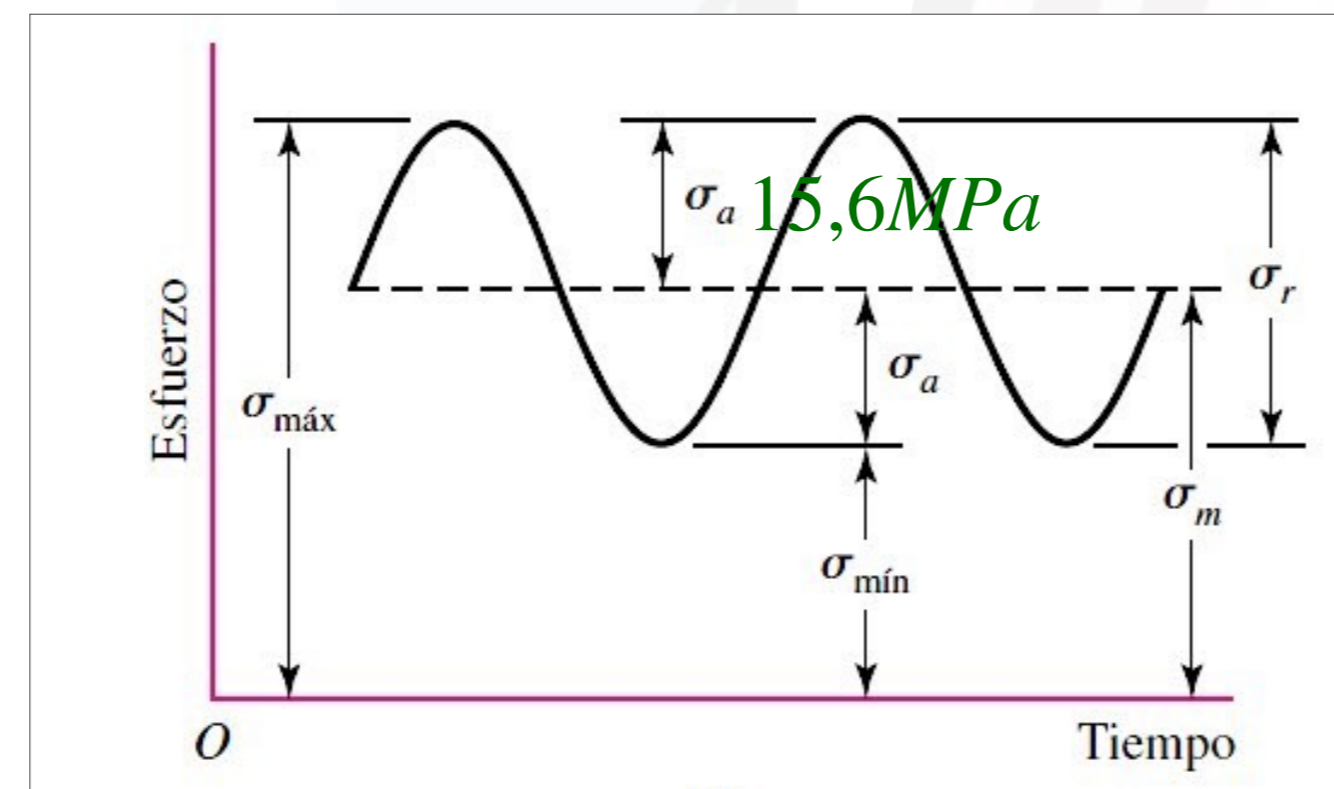
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad A = \frac{\pi * (35mm)^2}{4}$$

$$A = 962mm^2$$



$$\sigma_{ax-max} = \frac{F_{ax-max}}{A} = \frac{50000N}{962mm^2} = 52MPa$$

$$\sigma_{ax-min} = \frac{F_{ax-min}}{A} = \frac{20000N}{962mm^2} = 20,8MPa$$



$$\sigma_{ax-m} = \frac{52MPa + 20,8MPa}{2} = 36,4Mpa$$

$$\sigma_{ax-a} = \left| \frac{52MPa - 20,8MPa}{2} \right| = 15,6MPa$$

EJEMPLO 3

$$A = \frac{\pi * (70mm)^2}{4} =$$

El esfuerzo medio:

(Representa el valor medio entre la tensión máxima y la mínima)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

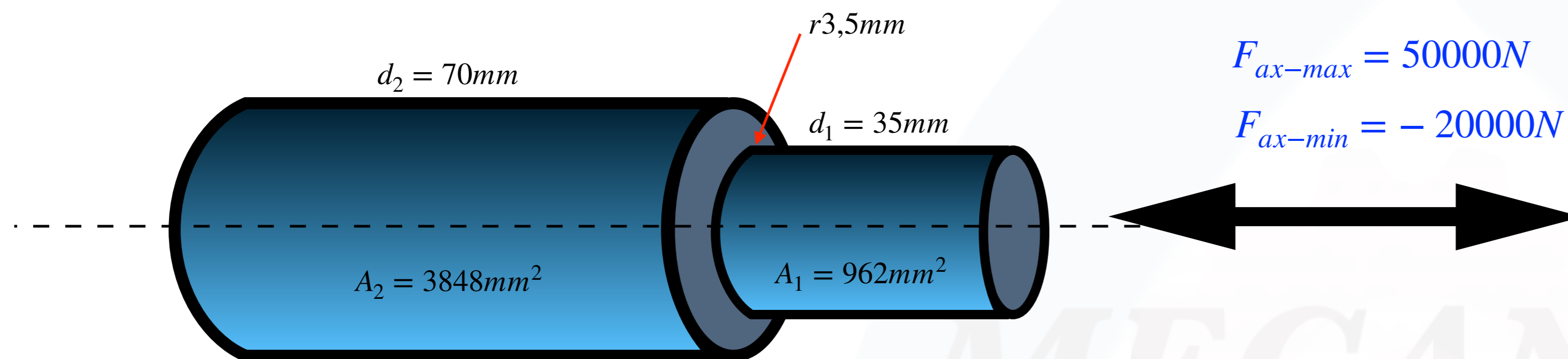
La amplitud del esfuerzo:

(Representa el semi ciclo de la pulsación)

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right|$$

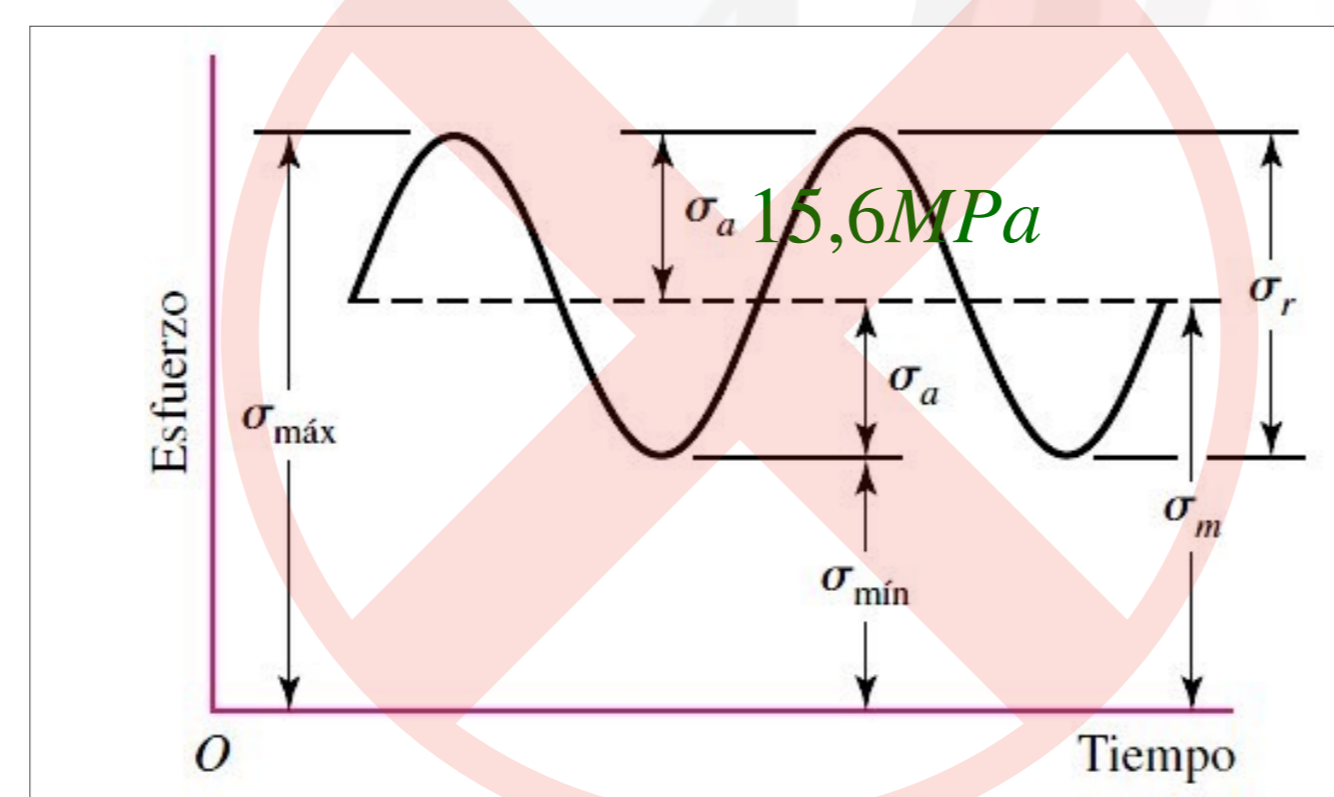
Tensiones PARA TRACCION y COMPRESION en una barra cilíndrica:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad A_1 = \frac{\pi * (35mm)^2}{4} \quad A_1 = 962mm^2$$



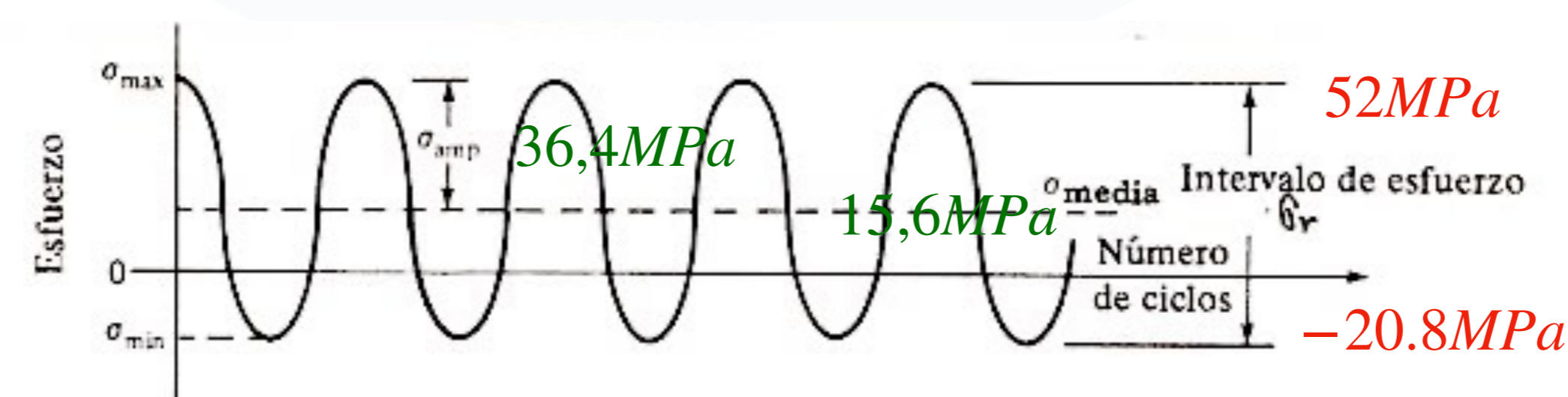
$$\sigma_{ax-max} = \frac{F_{ax-max}}{A} = \frac{50000N}{962mm^2} = 52MPa$$

$$\sigma_{ax-min} = \frac{F_{ax-min}}{A} = \frac{-20000N}{962mm^2} = -20,8MPa$$



$$\sigma_{ax-m} = \frac{52MPa + (-20,8MPa)}{2} = 15,6MPa$$

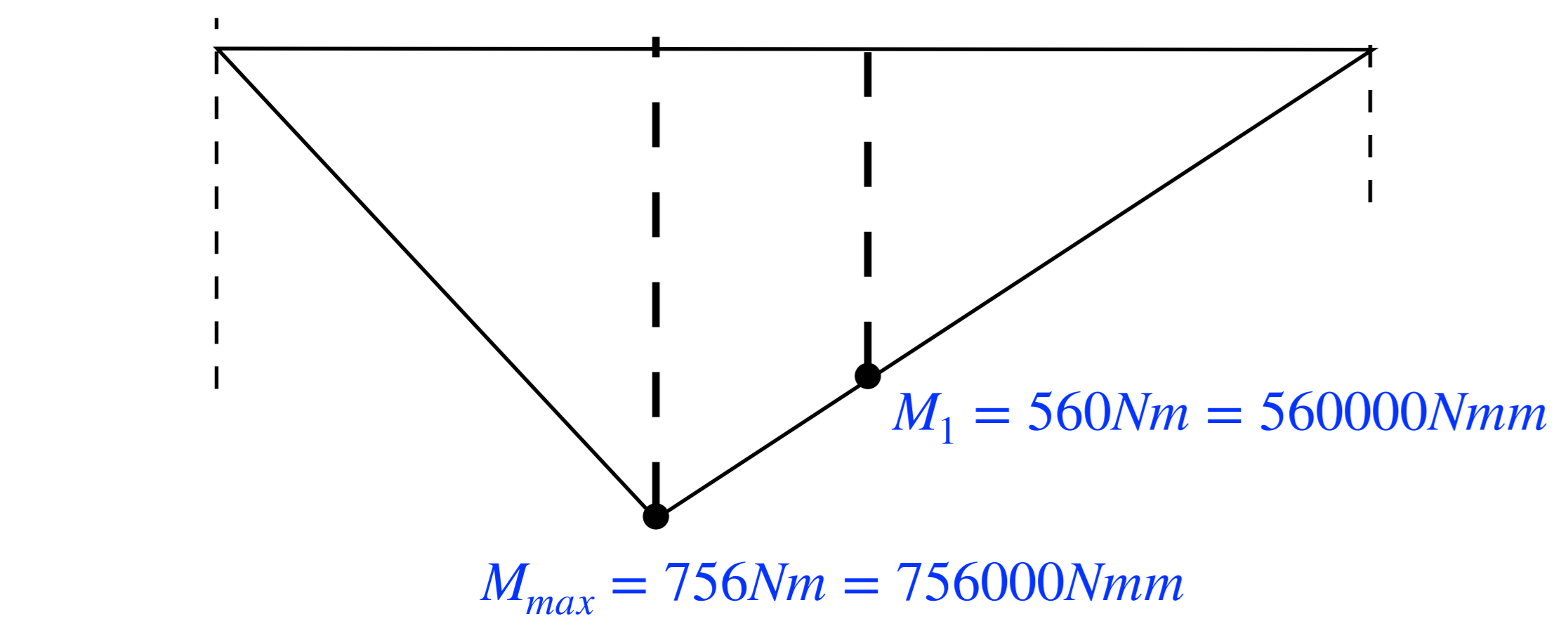
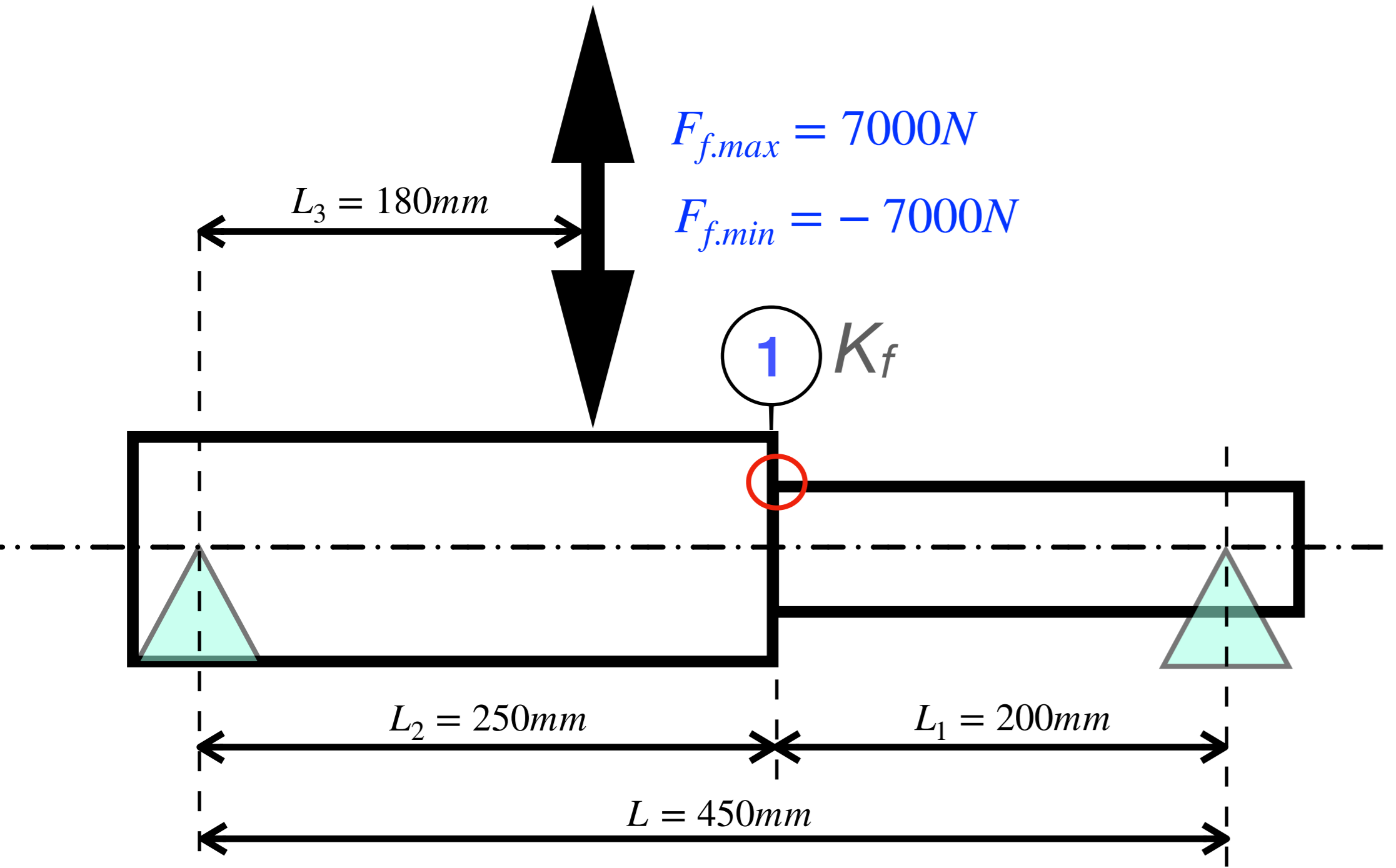
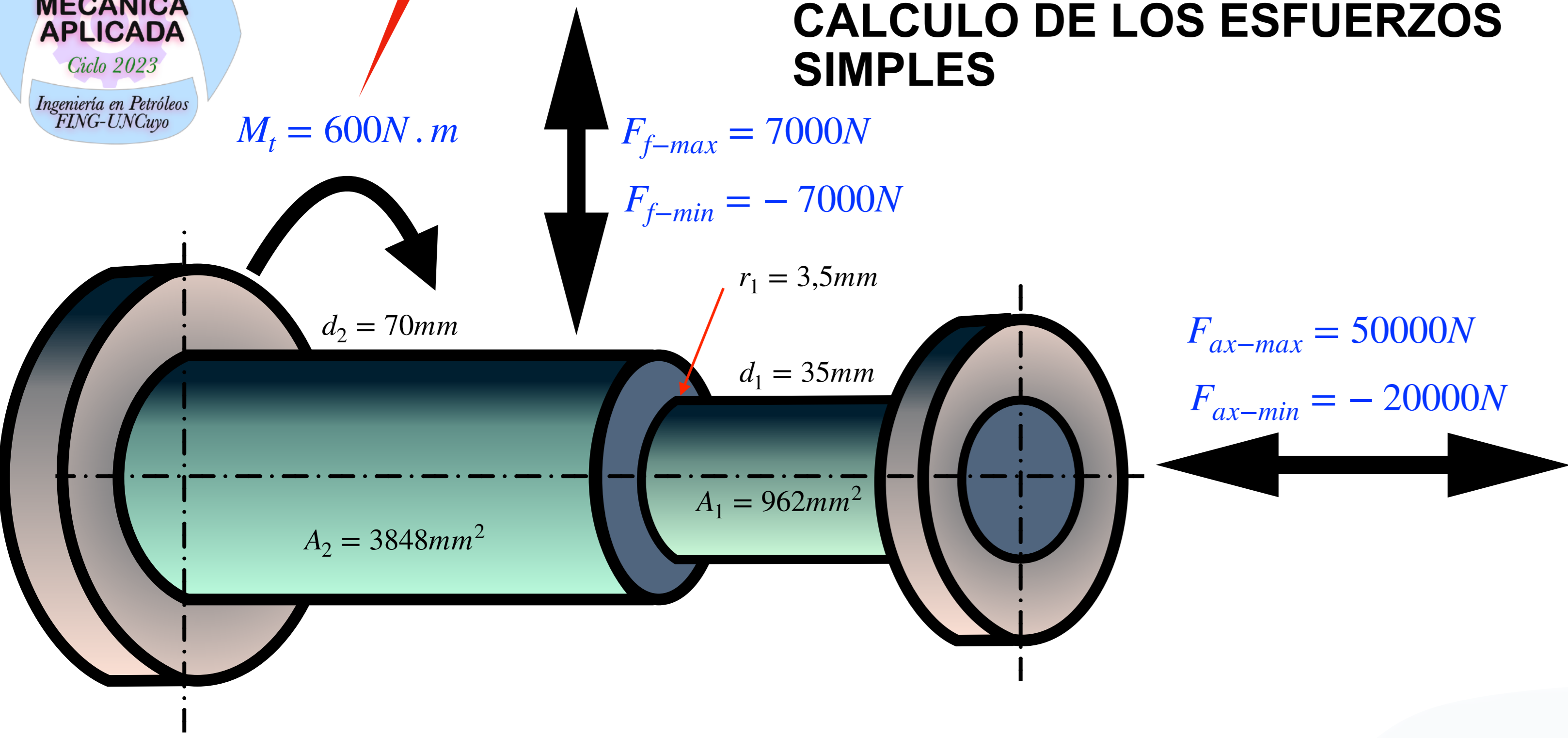
$$\sigma_{ax-a} = \left| \frac{52MPa - (-20,8MPa)}{2} \right| = 36,4MPa$$



CONSTANTE ?

EJEMPLO 4 (h1)

CALCULO DE LOS ESFUERZOS SIMPLES



- 1- Cálculo del límite de resistencia a la fatiga del material (probeta) (Ec. 4-1)
- 2- Determinación de los factores que modifican la resistencia a la fatiga de un elemento de máquina.
- 3- Resistencia a la fatiga del elemento de máquina (Sj) (Ec. 4-8)
- 4- Cálculo del esfuerzo medio y esfuerzo fluctuante para cargas simples (Ec. 5-1 y 5-2)
- 5- Cálculo de los factores de concentración de tensiones (Ec. 5-3 y 5-4)
- 6- Esfuerzos fluctuantes de fatiga aplicados al elemento de máquina. (σ'_m , σ'_a) (Ec. 5-5 y 5-6)
- 7- Verificación a la Fatiga para piezas sometidas a esfuerzos fluctuantes, de acuerdo a varios criterios de falla (cálculo del factor de seguridad) (Tabla 4)

Tensiones PARA TRACCION y COMPRESION en una barra cilíndrica:

AXIAL

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad A_1 = \frac{\pi * (35mm)^2}{4} \quad A_1 = 962mm^2$$

$$\sigma_{ax-max} = \frac{F_{ax-max}}{A_1} = \frac{50000N}{962mm^2} = 52MPa$$

$$\sigma_{ax-min} = \frac{F_{ax-min}}{A_1} = \frac{-20000N}{962mm^2} = -20,8MPa$$

$$\sigma_{ax-m} = \frac{52MPa + (-20,8MPa)}{2} = 15,6MPa$$

$$\sigma_{ax-a} = \left| \frac{52MPa - (-20,8MPa)}{2} \right| = 36,4MPa$$

Tensiones normales PARA FLEXION en una barra cilíndrica:

FLEXION

$$\sigma_{flexion} = \frac{M_F * c}{I_{xx}}$$

$$I_{xx} = \frac{\pi * d^4}{64} \quad I_{xx} = \frac{\pi * (35mm)^4}{64} = 73661mm^4$$

$$d_1 = 35mm \quad c = d_1/2 = 35mm/2 = 17,5mm$$

$$\sigma_{f-max} = \frac{560000Nmm}{73661mm^4} * 17,5mm = 133MPa$$

$$\sigma_{f-min} = \frac{-560000Nmm}{73661mm^4} * 17,5mm = -133MPa$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad \sigma_{f-a} = 133MPa$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \sigma_{f-m} = 0MPa$$

Tensiones normales PARA TORSION en una barra cilíndrica:

TORSION

$$\tau = \frac{M_T * c}{J}$$

$$J = \frac{\pi * d^4}{32} \quad J = \frac{\pi * (35mm)^4}{32} = 147323mm^4$$

$$d_1 = 35mm \quad c = d_1/2 = 35mm/2 = 17,5mm$$

$$\tau_{max} = \frac{600000Nmm}{147323mm^4} * 17,5mm = 71,3MPa$$

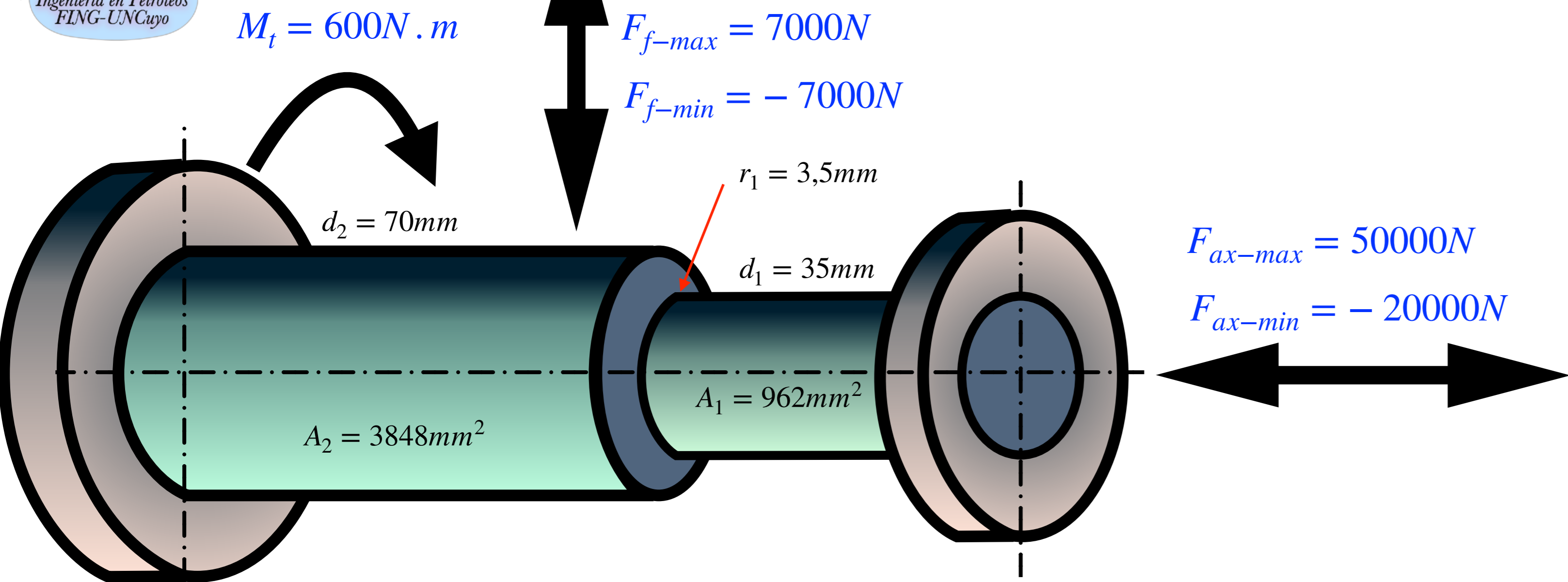
$$\tau_{min} = \frac{600000Nmm}{147323mm^4} * 17,5mm = 71,3MPa$$

$$\tau_m = 71,3MPa$$

$$\tau_a = 0MPa$$

EJEMPLO 4 (h2)

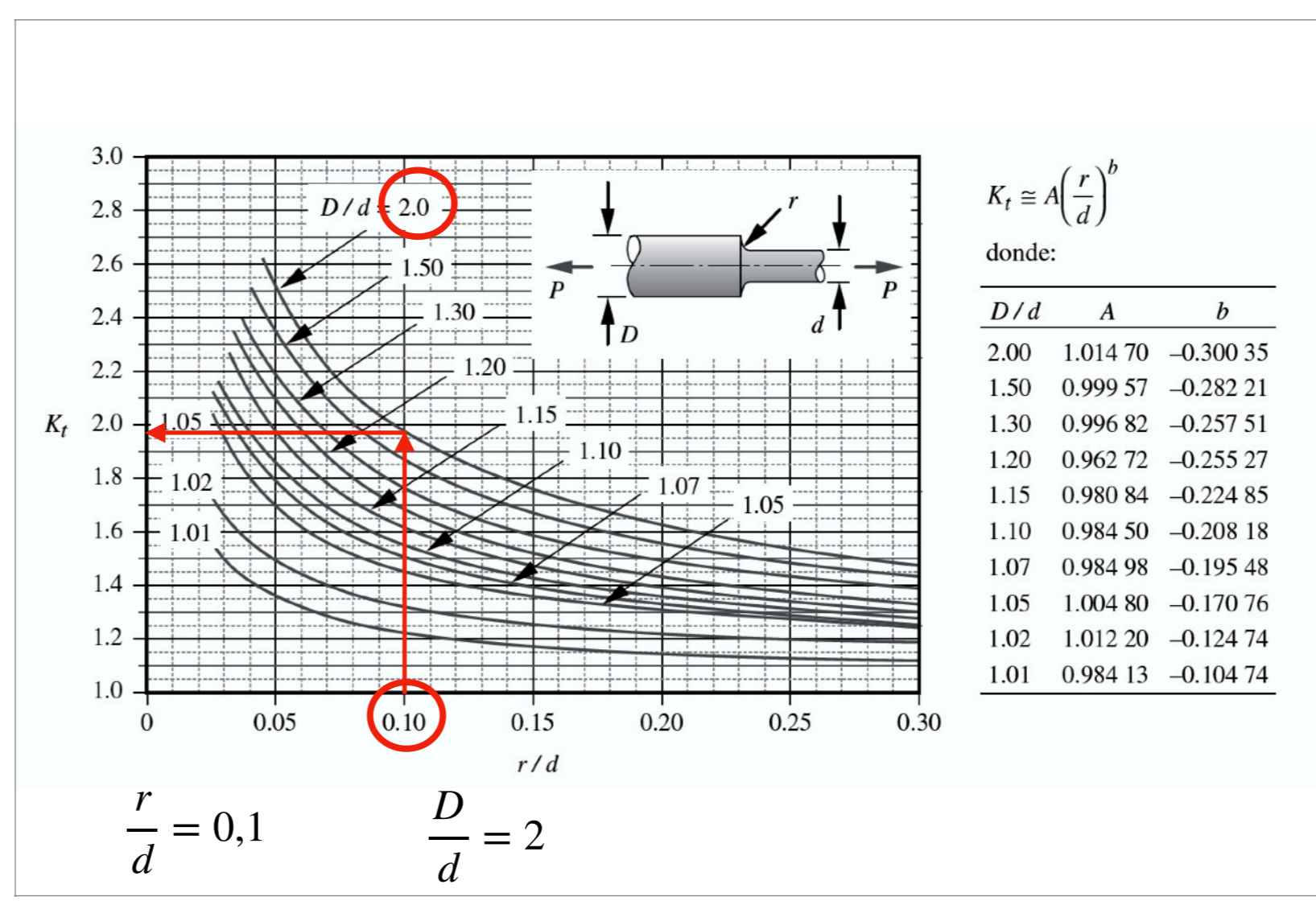
SELECCION DE FACTORES DE CONCENTRACION DE TENSIONES



AISI núm.	Temperatura, °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	540 (1 000)	1 030 (150)	910 (132)	17	57	315

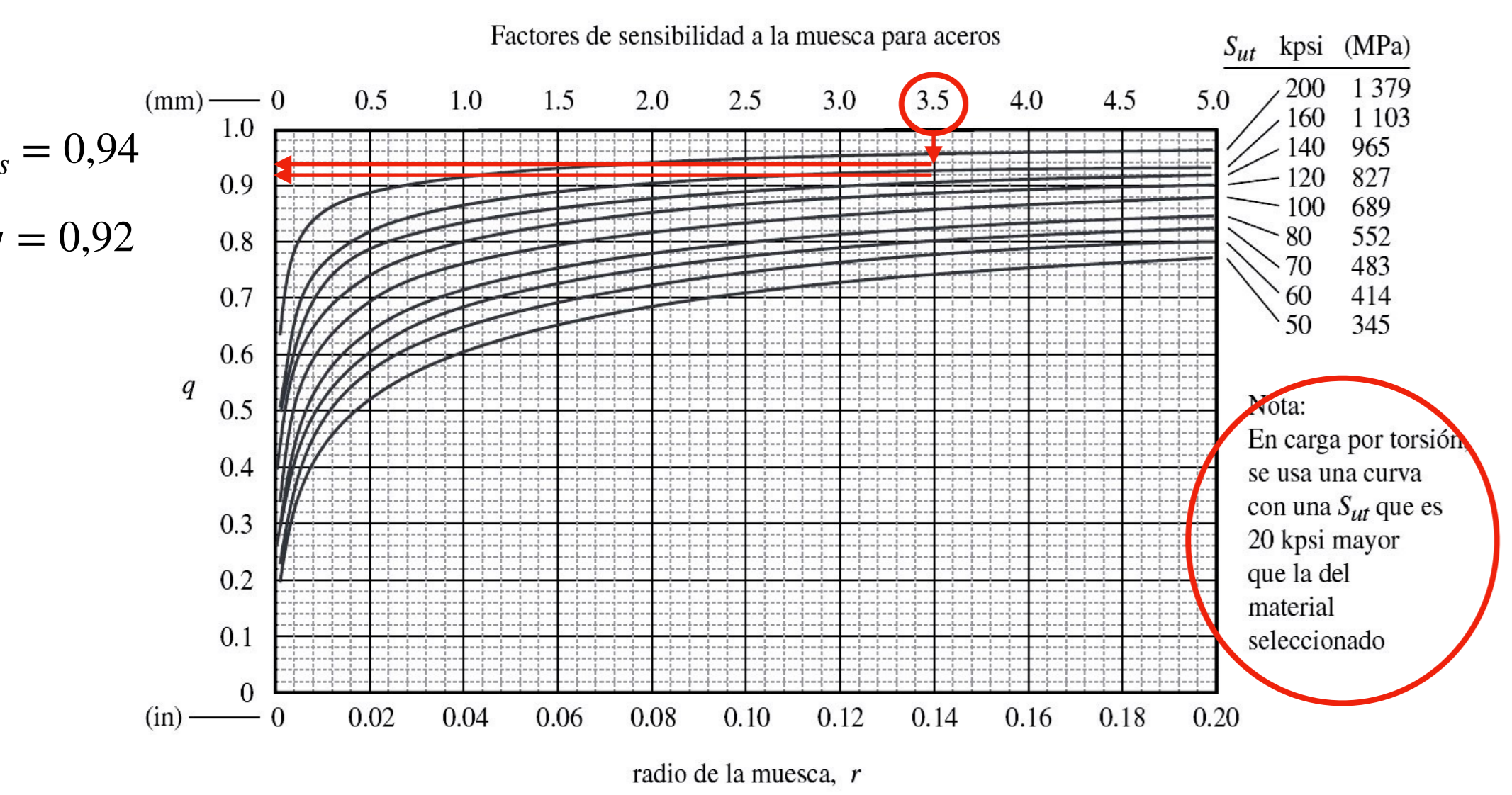
Tensiones PARA TRACCION y COMPRESION en una barra cilíndrica:

AXIAL



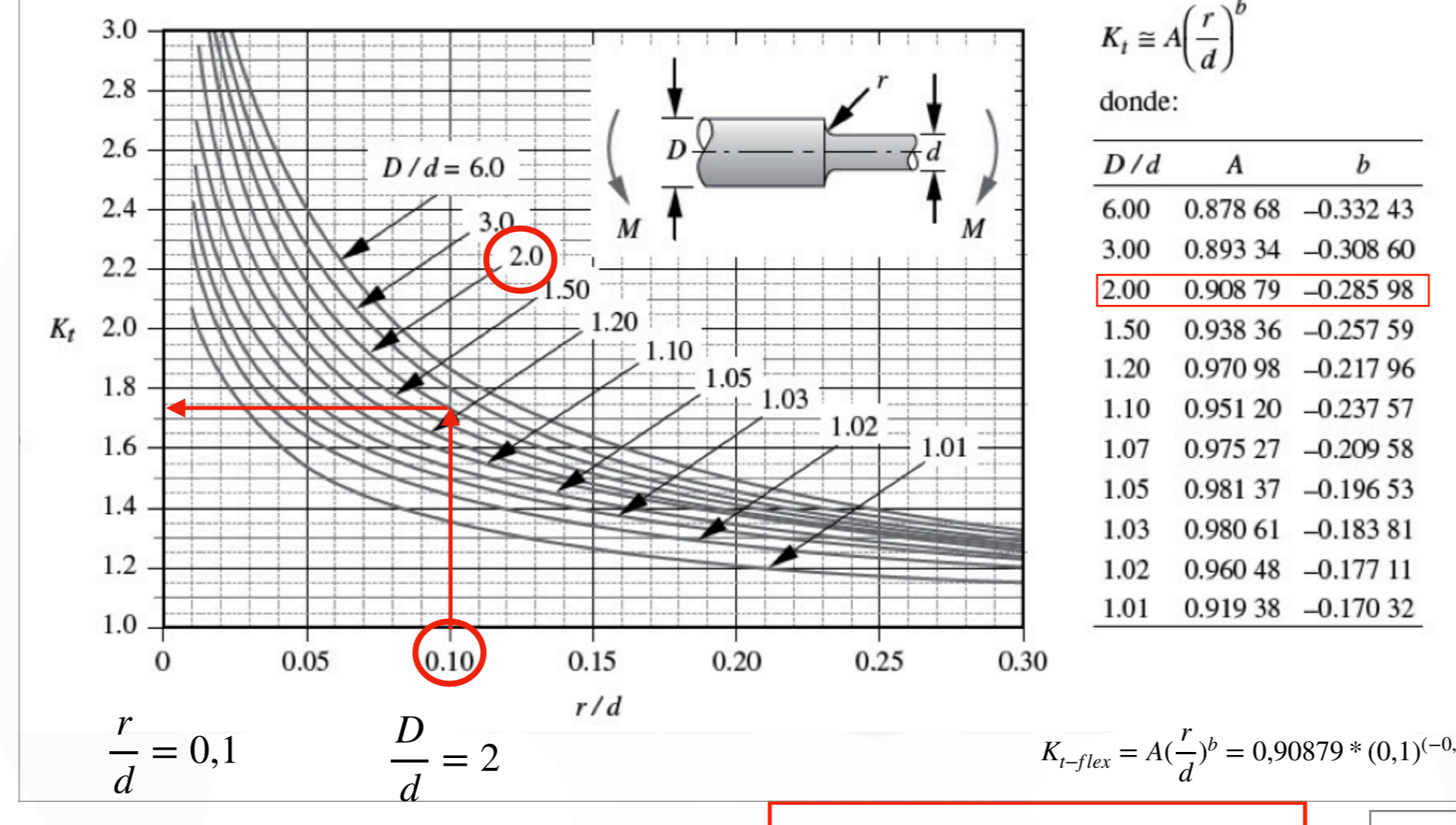
$\sigma_{ax-m} = 15,6MPa$
 $\sigma_{ax-a} = 36,4MPa$

$K_{t-ax} = 1,975$
 $q = 0,92$
 $K_{f-ax} = 1 + 0,92 \cdot (1,975 - 1) = 1,897$



Tensiones normales PARA FLEXION

FLEXION

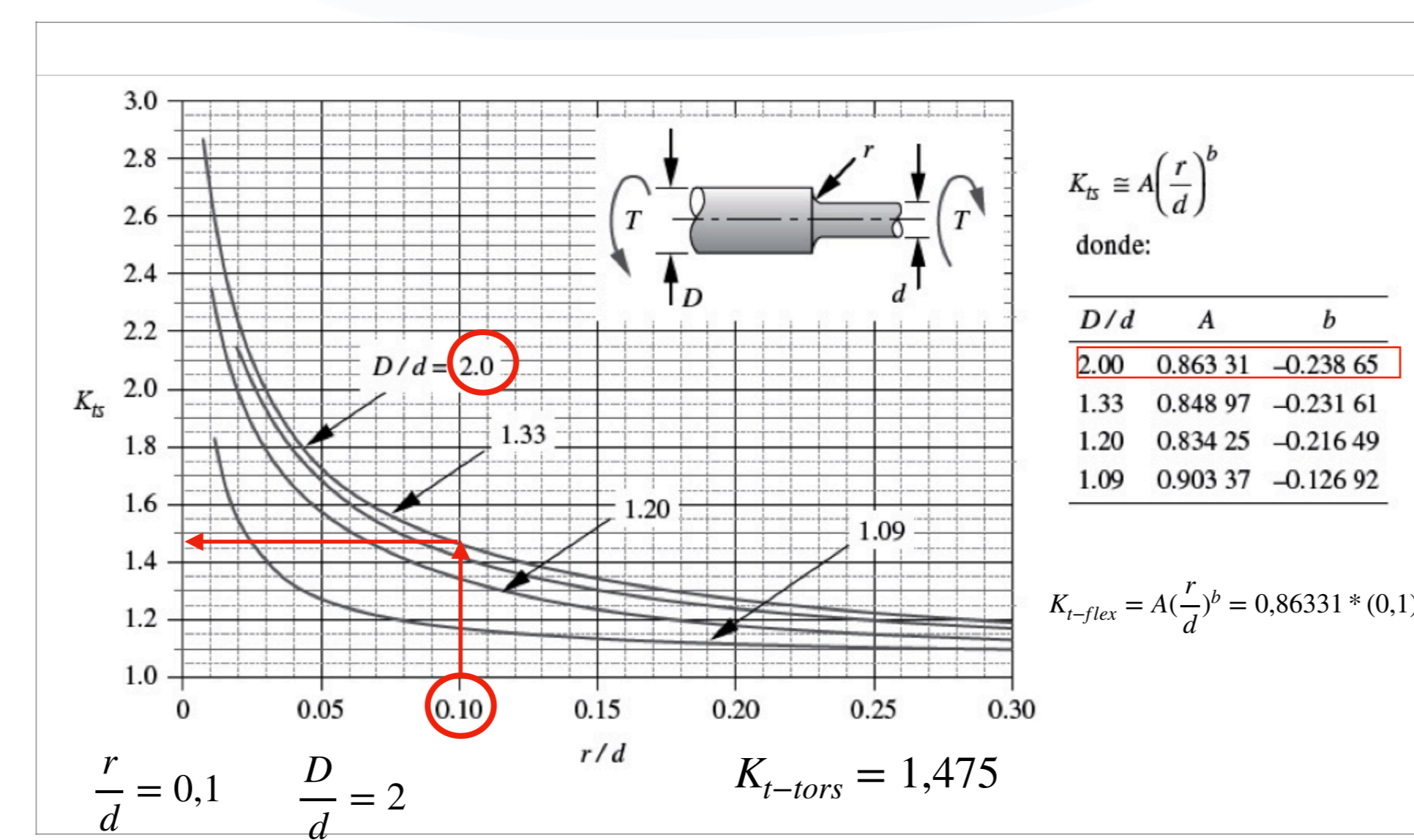


$\sigma_{f-a} = 151,5MPa$
 $\sigma_{f-m} = 0MPa$

$K_{t-flex} = 1,750$ $q = 0,92$
 $K_{f-flex} = 1 + 0,92 \cdot (1,750 - 1) = 1,690$

Tensiones normales PARA TORSION en una barra cilíndrica:

TORSION



$\tau_m = 71,3MPa$
 $\tau_a = 0MPa$

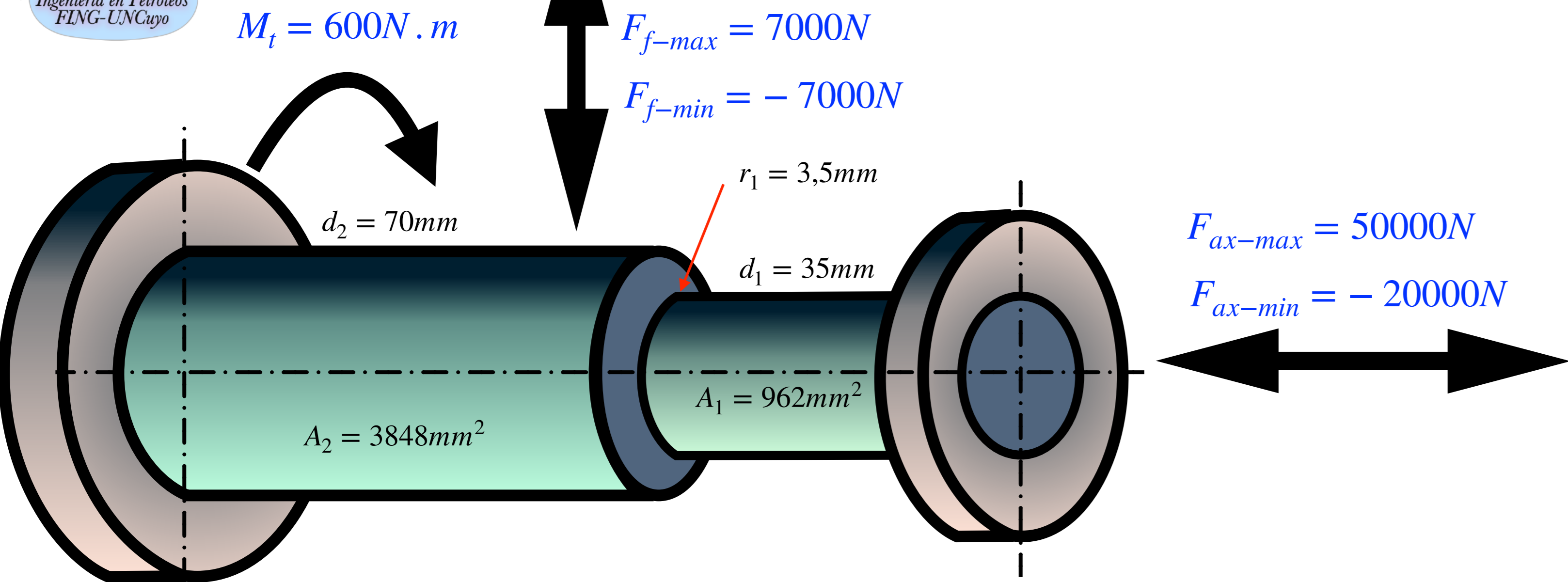
$K_{ts} = 1 + 0,94 \cdot (1,475 - 1) = 1,447$
 $q_s = 0,94$

- 1- Calculo del limite de resistencia a la fatiga del material (probeta) (Ec. 4-1)
- 2- Determinacion de los factores que modifican la resistencia a la fatiga de un elemento de maquina.
- 3- Resistencia a la fatiga del elemento de maquina (Sf) (Ec. 4-8)
- 4- Calculo del esfuerzo medio y esfuerzo fluctuante para cargas simples (Ec. 5-1 y 5-2)
- 5- Calculo de los factores de concentracion de tensiones (Ec. 5-3 y 5-4)
- 6- Esfuerzos fluctuantes de fatiga aplicados al elemento de maquina. (σm, σm) (Ec. 5-5 y 5-6)
- 7- Verificacion a la Fatiga para piezas sometidas a esfuerzos fluctuantes, de acuerdo a varios criterios de falla (calculo del factor de seguridad) (Tabla 4)

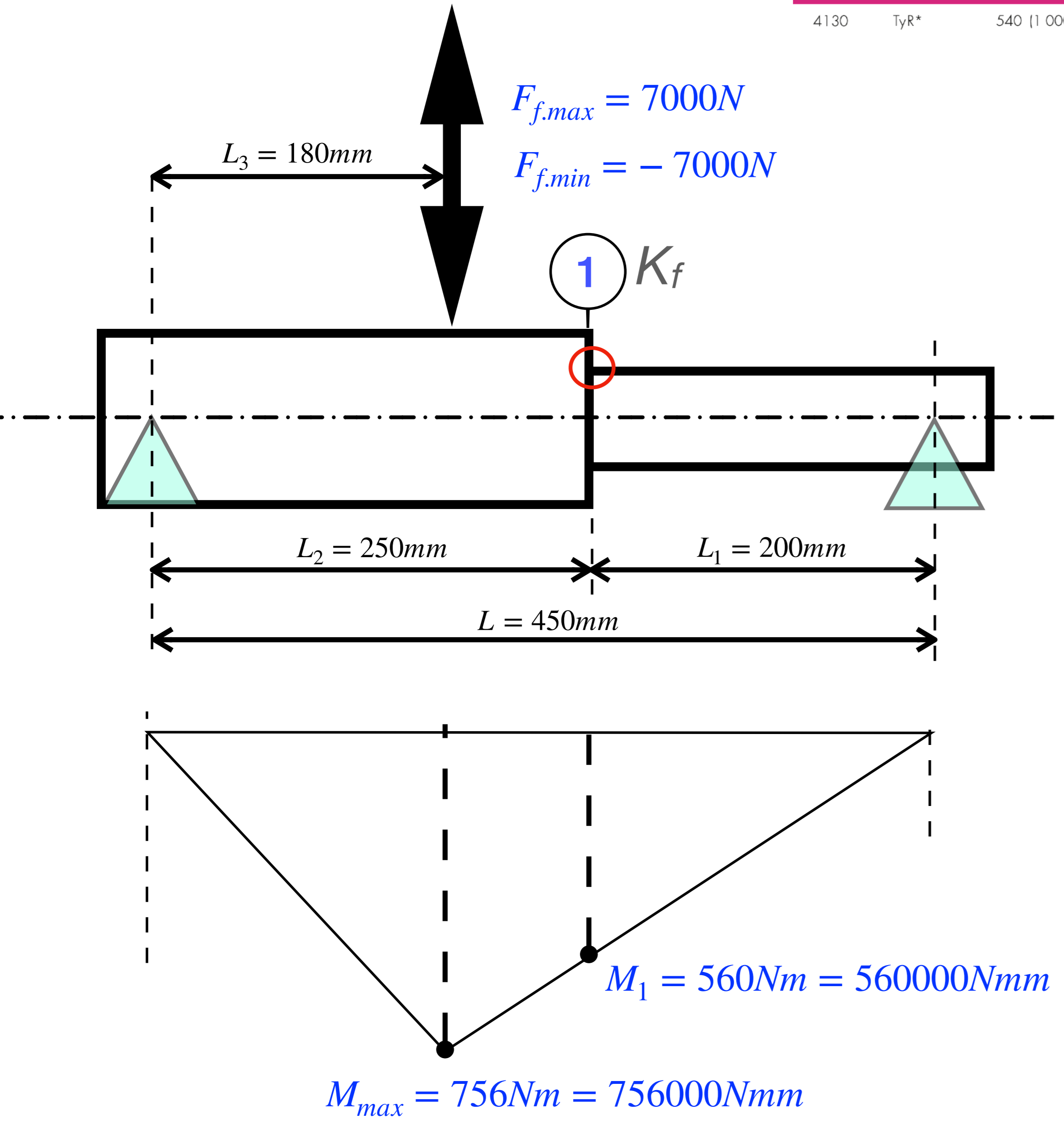
CONSTANTE ?

EJEMPLO 4 (h3)

CALCULO DE LOS ESFUERZOS COMBINADOS



AISI núm.	Tratamiento	Temperatura, °C (°F)	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	TyR*	540 (1 000)	1 030 (150)	910 (132)	17	57	315



- 1- Cálculo del límite de resistencia a la fatiga del material (probeta) (Ec. 4-1)
- 2- Determinación de los factores que modifican la resistencia a la fatiga de un elemento de máquina.
- 3- Resistencia a la fatiga del elemento de máquina (S_f) (Ec. 4-8)
- 4- Cálculo del esfuerzo medio y esfuerzo fluctuante para cargas simples (Ec. 5-1 y 5-2)
- 5- Cálculo de los factores de concentración de tensiones (Ec. 5-3 y 5-4)
- 5- Esfuerzos fluctuantes de fatiga aplicados al elemento de máquina. (σ'_a, σ'_m) (Ec. 5-5 y 5-6)
- 7- Verificación a la Fatiga para piezas sometidas a esfuerzos fluctuantes, de acuerdo a varios criterios de falla (cálculo del factor de seguridad) (Tabla 4)

AXIAL

$$K_{f-ax} = 1 + 0,92 \cdot (1,975 - 1) = 1,897$$

$$\sigma_{ax-m} = 15,6MPa$$

$$\sigma_{ax-a} = 36,4MPa$$

FLEXION

$$K_{f-flex} = 1 + 0,92 \cdot (1,750 - 1) = 1,690$$

$$\sigma_{f-a} = 133MPa$$

$$\sigma_{f-m} = 0MPa$$

TORSION

$$K_{fs} = 1 + 0,94 \cdot (1,475 - 1) = 1,447$$

$$\tau_m = 71,3MPa$$

$$\tau_a = 0MPa$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\left[\left(K_{f-flex} \times \sigma_{f-m} \right) + \left(K_{f-ax} \times \sigma_{ax-m} \right) \right]^2 + 3 \times \left(K_{fs} \times \tau_m \right)^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\left[\left(1,690 \times 0MPa \right) + \left(1,897 \times 15,6MPa \right) \right]^2 + 3 \times \left(1,447 \times 71,3MPa \right)^2} = 181,1MPa = 26270psi$$

$$\sigma'_m = 181,1MPa$$

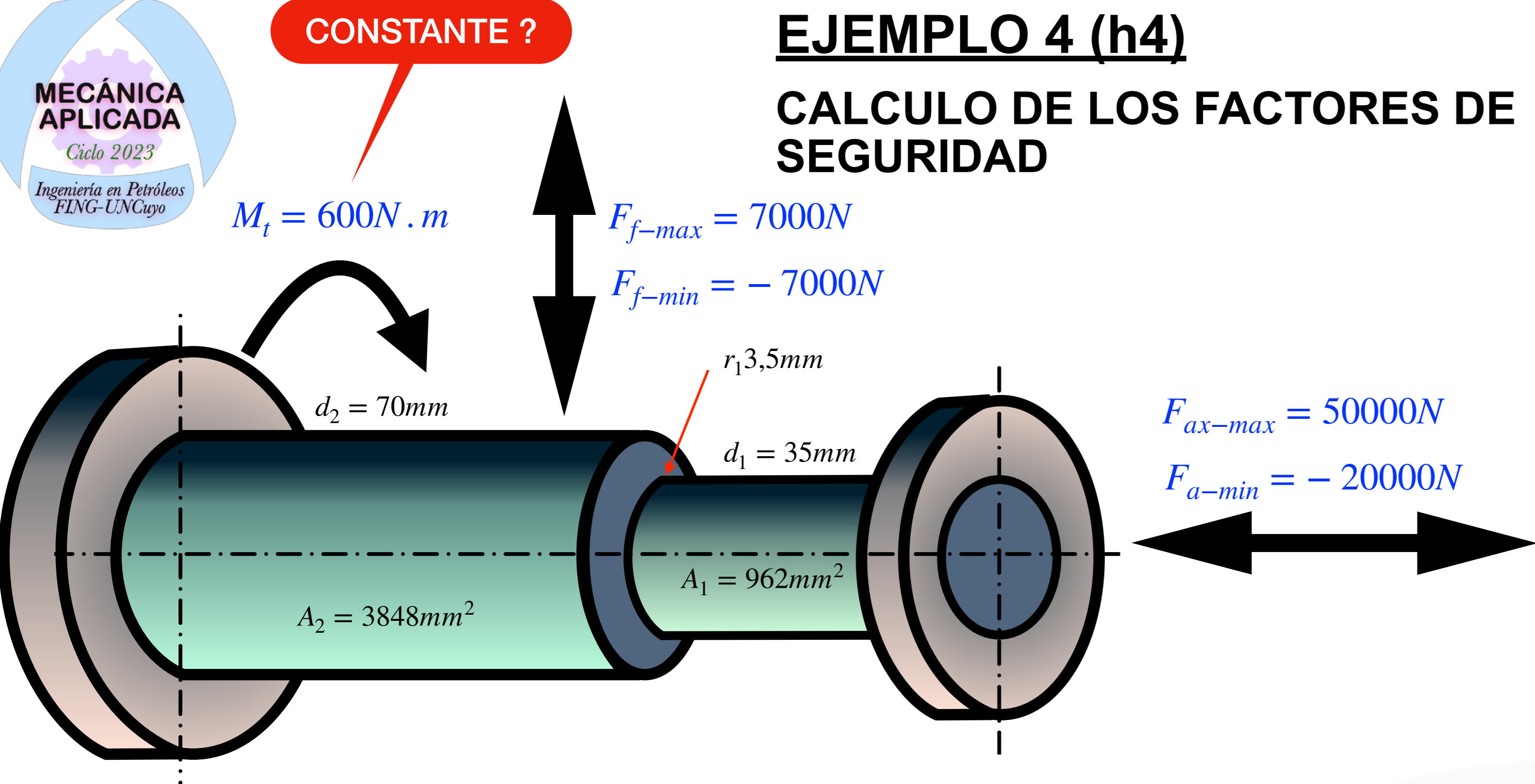
$$\sigma'_a = \sqrt{\left[\left(K_{f-flex} \times \sigma_{f-a} \right) + \left(K_{f-ax} \times \frac{\sigma_{ax-a}}{0,85} \right) \right]^2 + 3 \times \left(K_{fs} \times \tau_a \right)^2}$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\left[\left(1,690 \times 133MPa \right) + \left(1,897 \times \frac{36,4MPa}{0,85} \right) \right]^2 + 3 \times \left(1,447 \times 0MPa \right)^2} = 306MPa = 45381psi$$

$$\sigma'_a = 306MPa$$

EJEMPLO 4 (h4)

CALCULO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD



AISI núm.	Tratamiento	Temperatura °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	TyR*	540 (1 000)	1 030 (150)	910 (132)	17	57	315

Resistencia a la fatiga para el elemento de maquina

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

- k_a : factor de modificación de la condición superficial
- k_b : factor de modificación del tamaño
- k_c : factor de modificación de la carga
- k_d : factor de modificación de la temperatura
- k_e : factor de confiabilidad
- k_f : factor de efectos diversos
- S'_e : tensión limite de fatiga de la probeta
- S_e : tensión limite de fatiga de la pieza o elemento de maquina

Factor de Superficie $k_a = a \cdot (S_{ut})^b$

Terminación Superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} en kpsi	S_{ut} en MPa	
Rectificado	1,34	1,58	-0,085
Mecanizado o laminado en frio	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Forjado (en bruto)	39,9	272	-0,995

$$k_a = a \cdot (S_{ut})^b = 1,58 \cdot (1030)^{-0,085} = 0,876$$

Factor de Tamaño

$(d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107}$	$0.11 \leq d \leq 2$ in
$0.91d^{-0.157}$	$2 < d \leq 10$ in
$(d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107}$	$2.79 \leq d \leq 51$ mm
$1.51d^{-0.157}$	$51 < d \leq 254$ mm

$$k_b = 1,51 \cdot (d)^{-0,157} = 1,51 \cdot (70)^{-0,157} = 0,775$$

Factor de Confiabilidad

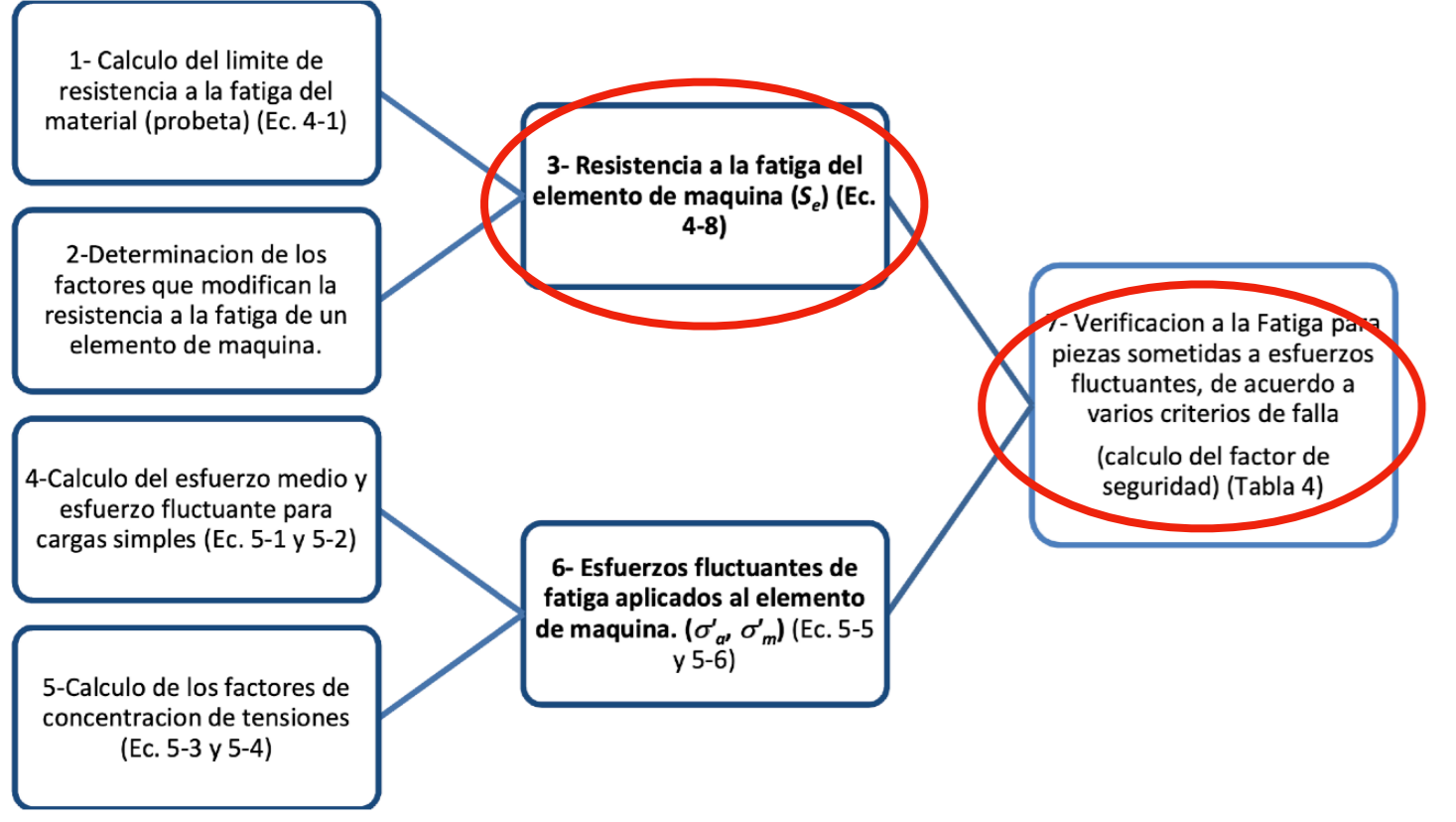
Confiabilidad %	Factor de Confiabilidad k_e
50	1
90	0,897
95	0,868
99	0,814
99,9	0,753
99,99	0,702
99,999	0,659
99,9999	0,62

$$k_e = 0,897$$

$$S'_e = S_{ut} \times 0,5 = 1030MPa \times 0,5 = 515MPa$$

$$k_a = 0,876 \quad k_b = 0,775 \quad k_e = 0,897$$

$$S_e = 515MPa \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_e = 314MPa = 45540psi$$



$$\sigma'_m = 181,1MPa \quad \sigma'_a = 306MPa$$

$$S_y = 910MPa \quad S_{ut} = 1030MPa \quad S'_e = 515MPa \quad S_e = 314MPa$$

SODERBERG

$$n_{so} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y}} = \frac{1}{\frac{306MPa}{314MPa} + \frac{181,1MPa}{910MPa}} = 0,852$$

No verifica

GOODMAN

$$n_{go} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{306MPa}{314MPa} + \frac{181,1MPa}{1030MPa}} = 0,869$$

No verifica

ASME

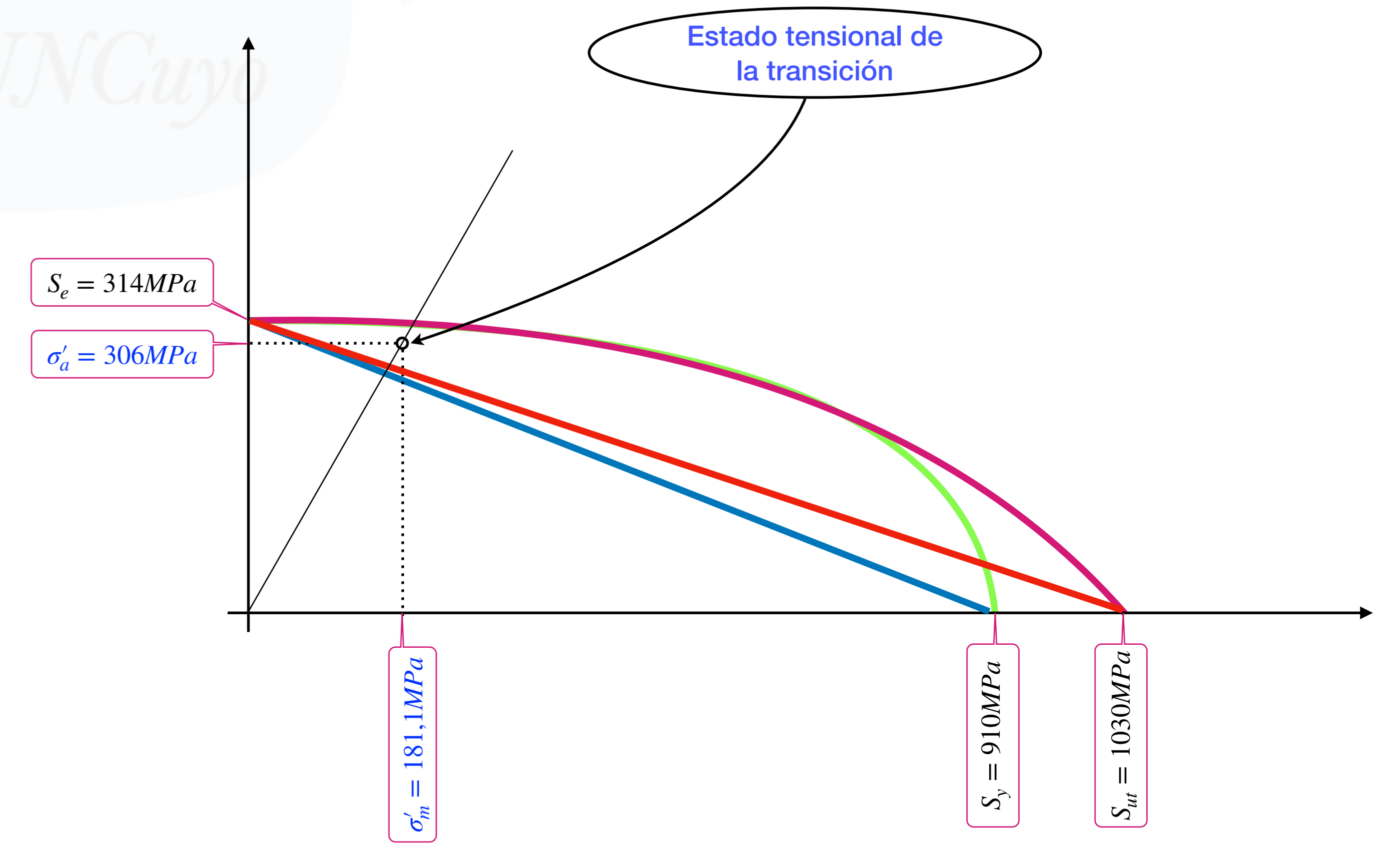
$$n_{as} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{306MPa}{314MPa}\right)^2 + \left(\frac{181,1MPa}{910MPa}\right)^2}} = 1,005$$

Verifica

GERBER

$$n_{ge} = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{S_{ut}}{\sigma'_m}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right) \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \left[\frac{2 \cdot \sigma'_m \cdot S_e}{S_{ut} \cdot \sigma'_a}\right]^2}\right]$$

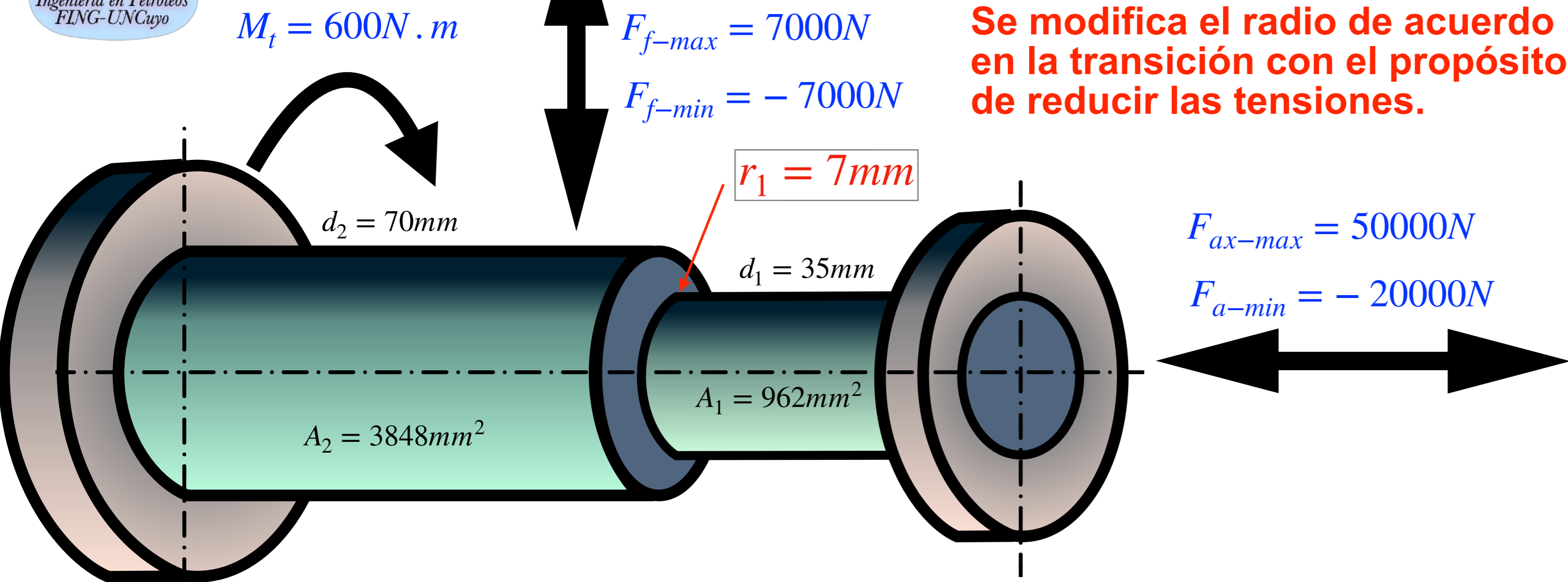
Diagrama de estado tensional (se debe dibujar a escala)



CONSTANTE ?

EJEMPLO 4 (h5)

SELECCION DE FACTORES DE CONCENTRACION DE TENSIONES

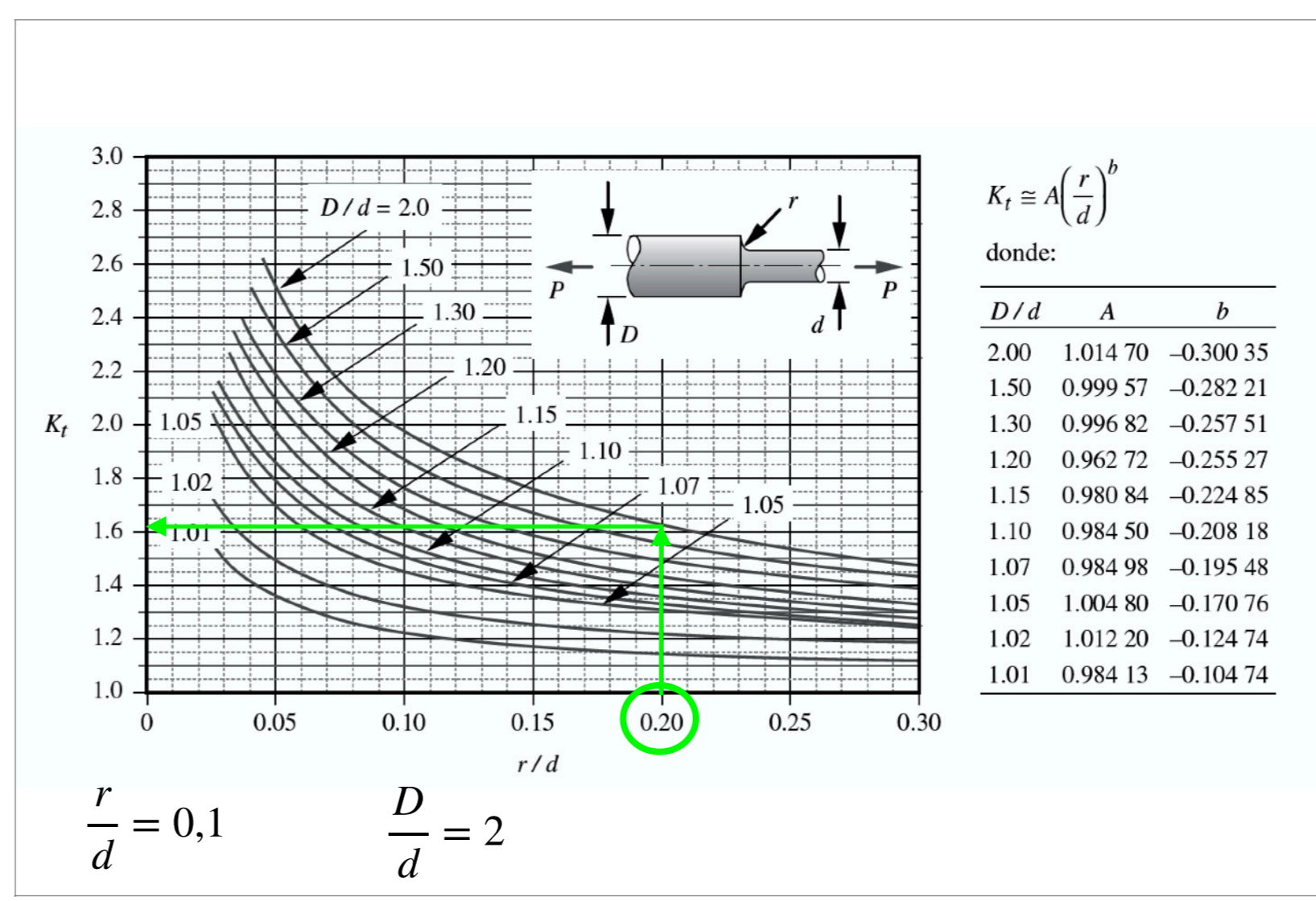


Se modifica el radio de acuerdo en la transición con el propósito de reducir las tensiones.

AISI núm.	Tratamiento	Temperatura, °C (°F)	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	TyR*	540 (1 000)	1 030 (150)	910 (132)	17	57	315

Tensiones PARA TRACCION y COMPRESION en una barra cilíndrica:

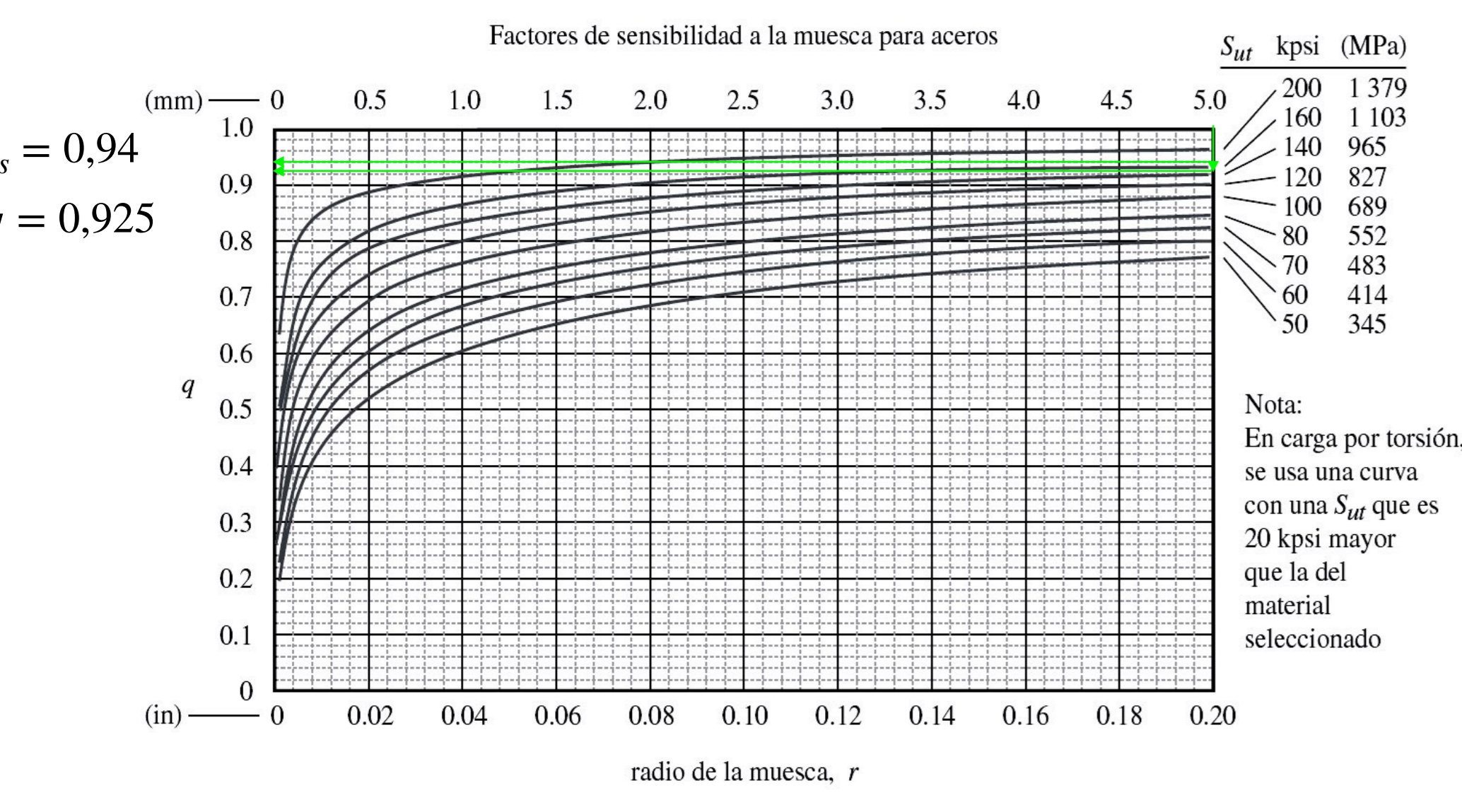
AXIAL



$\sigma_{ax-m} = 15,6MPa$
 $\sigma_{ax-a} = 36,4MPa$

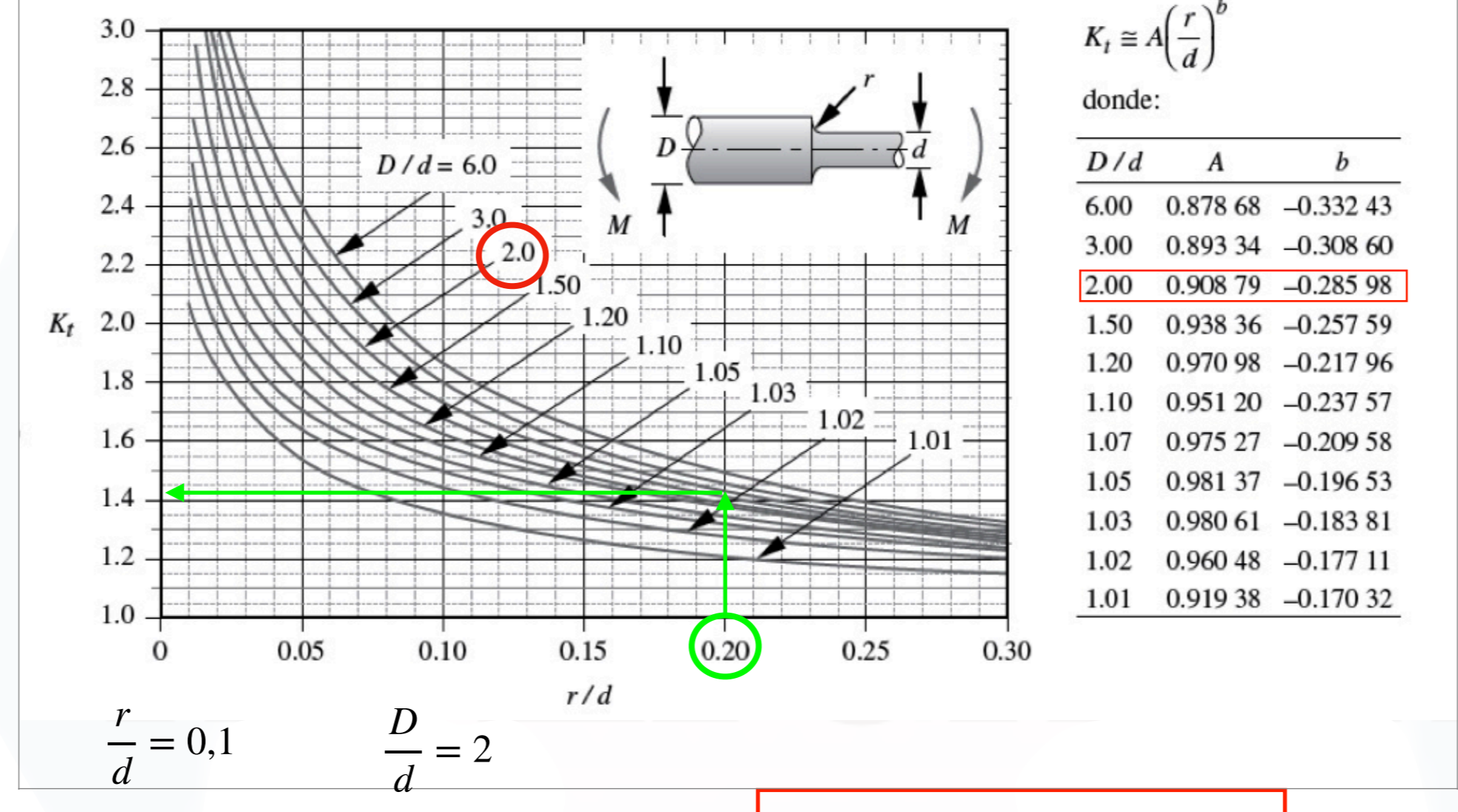
$K_{t-ax} = 1,625$
 $q = 0,925$

$K_{f-ax} = 1 + 0,925 \cdot (1,625 - 1) = 1,578$



Tensiones normales PARA FLEXION

FLEXION



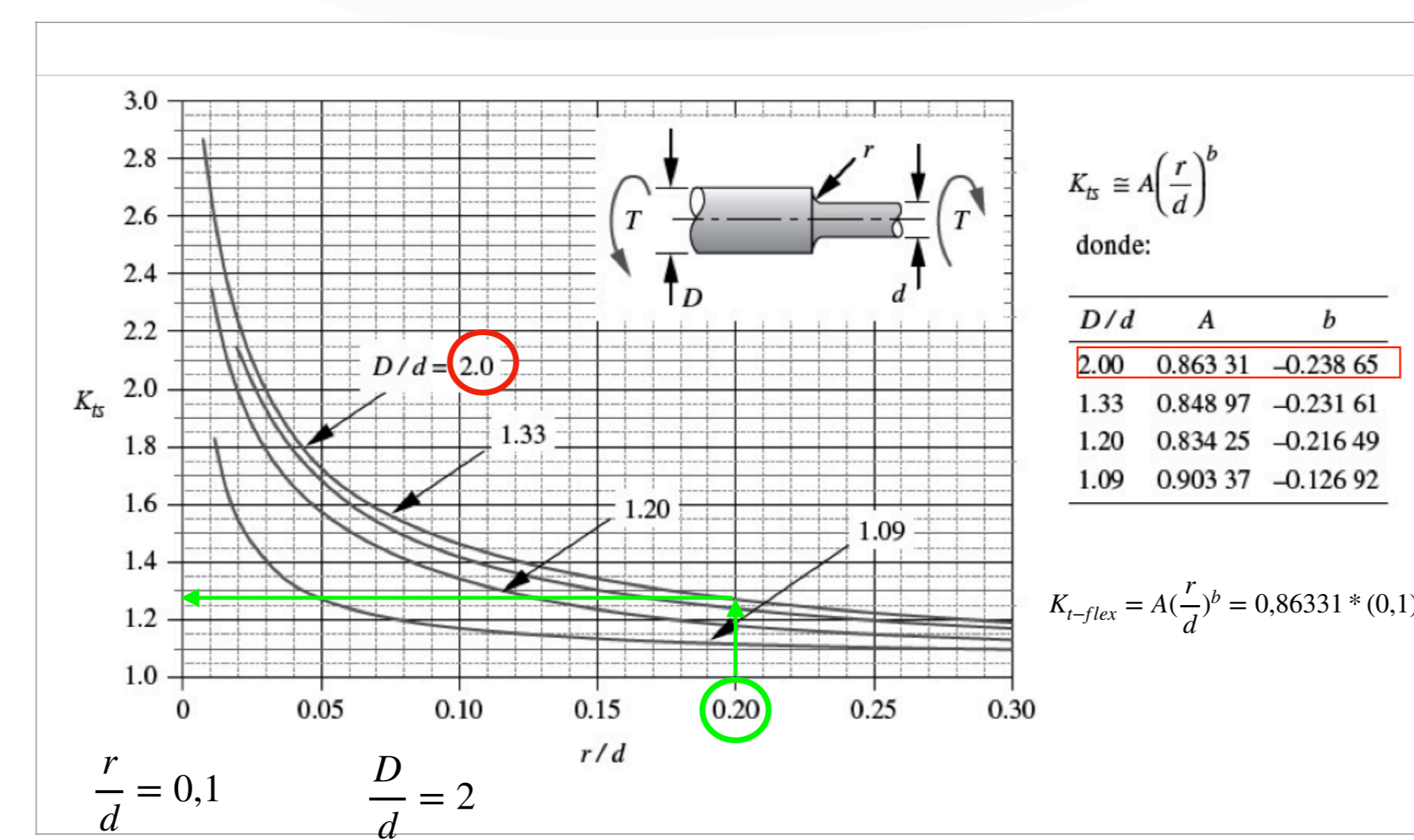
$\sigma_{f-a} = 151,5MPa$
 $\sigma_{f-m} = 0MPa$

$K_{t-flex} = 1,425$ $q = 0,925$

$K_{f-flex} = 1 + 0,925 \cdot (1,425 - 1) = 1,393$

Tensiones normales PARA TORSION en una barra cilíndrica:

TORSION



$\tau_m = 71,3MPa$
 $\tau_a = 0MPa$

$K_{ts} = 1,275$
 $q_s = 0,94$

$K_{fs} = 1 + 0,94 \cdot (1,275 - 1) = 1,2585$

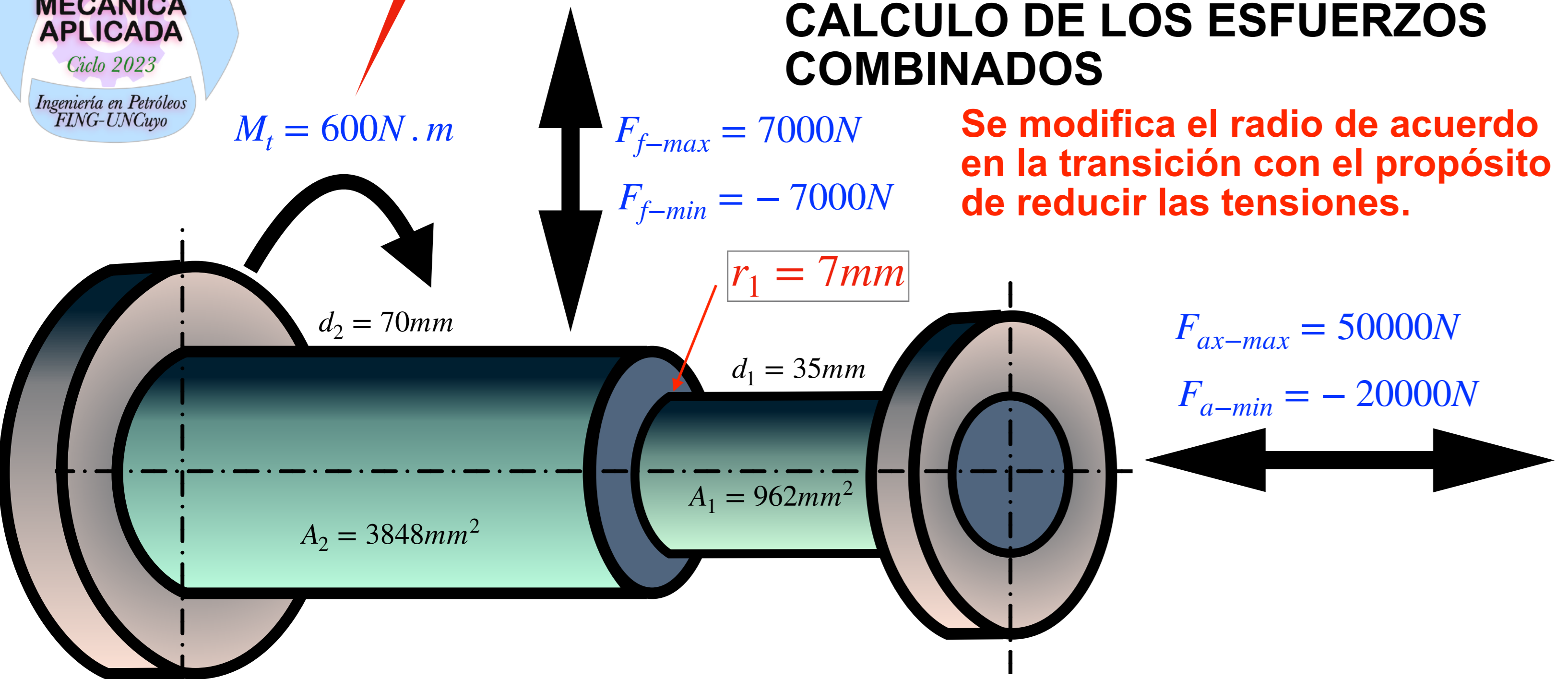
- 1- Calculo del limite de resistencia a la fatiga del material (probeta) (Ec. 4-1)
- 2- Determinacion de los factores que modifican la resistencia a la fatiga de un elemento de maquina.
- 3- Resistencia a la fatiga del elemento de maquina (S_e) (Ec. 4-8)
- 4- Calculo del esfuerzo medio y esfuerzo fluctuante para cargas simples (Ec. 5-1 y 5-2)
- 5- Calculo de los factores de concentracion de tensiones (Ec. 5-3 y 5-4)
- 6- Esfuerzos fluctuantes de fatiga aplicados al elemento de maquina. (σ_a, σ_m) (Ec. 5-5 y 5-6)
- 7- Verificacion a la Fatiga para piezas sometidas a esfuerzos fluctuantes, de acuerdo a varios criterios de falla (calculo del factor de seguridad) (Tabla 4)

CONSTANTE ?

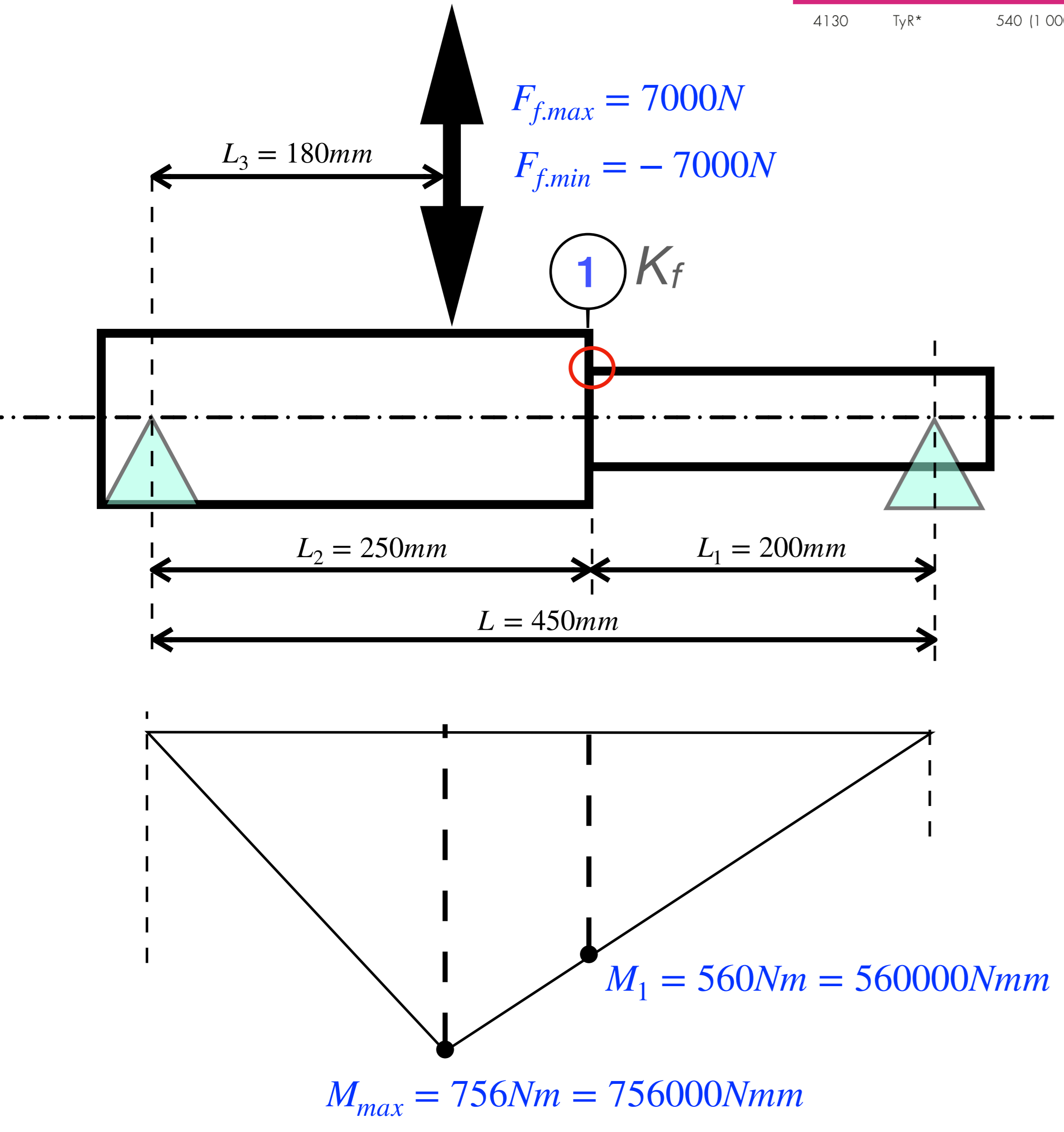
EJEMPLO 4 (h6)

CALCULO DE LOS ESFUERZOS COMBINADOS

Se modifica el radio de acuerdo en la transición con el propósito de reducir las tensiones.



AISI núm.	Tratamiento	Temperatura, °C (°F)	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	TyR*	540 (1 000)	1 030 (150)	910 (132)	17	57	315



- 1- Cálculo del límite de resistencia a la fatiga del material (probeta) (Ec. 4-1)
- 2- Determinación de los factores que modifican la resistencia a la fatiga de un elemento de máquina.
- 3- Resistencia a la fatiga del elemento de máquina (S_e) (Ec. 4-8)
- 4- Cálculo del esfuerzo medio y esfuerzo fluctuante para cargas simples (Ec. 5-1 y 5-2)
- 5- Cálculo de los factores de concentración de tensiones (Ec. 5-3 y 5-4)
- 5- Esfuerzos fluctuantes de fatiga aplicados al elemento de máquina. (σ'_a, σ'_m) (Ec. 5-5 y 5-6)
- 7- Verificación a la Fatiga para piezas sometidas a esfuerzos fluctuantes, de acuerdo a varios criterios de falla (cálculo del factor de seguridad) (Tabla 4)

AXIAL

$$K_{f-ax} = 1 + 0,925 \cdot (1,625 - 1) = 1,578$$

$$\sigma_{ax-m} = 15,6MPa$$

$$\sigma_{ax-a} = 36,4MPa$$

FLEXION

$$K_{f-flex} = 1 + 0,925 \cdot (1,425 - 1) = 1,393$$

$$\sigma_{f-a} = 133MPa$$

$$\sigma_{f-m} = 0MPa$$

TORSION

$$K_{fs} = 1 + 0,94 \cdot (1,275 - 1) = 1,2585$$

$$\tau_m = 71,3MPa$$

$$\tau_a = 0MPa$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\left[\left(K_{f-flex} \times \sigma_{f-m} \right) + \left(K_{f-ax} \times \sigma_{ax-m} \right) \right]^2 + 3 \times \left(K_{fs} \times \tau_m \right)^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\left[\left(1,393 \times 0MPa \right) + \left(1,578 \times 15,6MPa \right) \right]^2 + 3 \times \left(1,2585 \times 71,3MPa \right)^2} = 157,4MPa = 22828,1psi$$

$$\sigma'_m = 157,4MPa$$

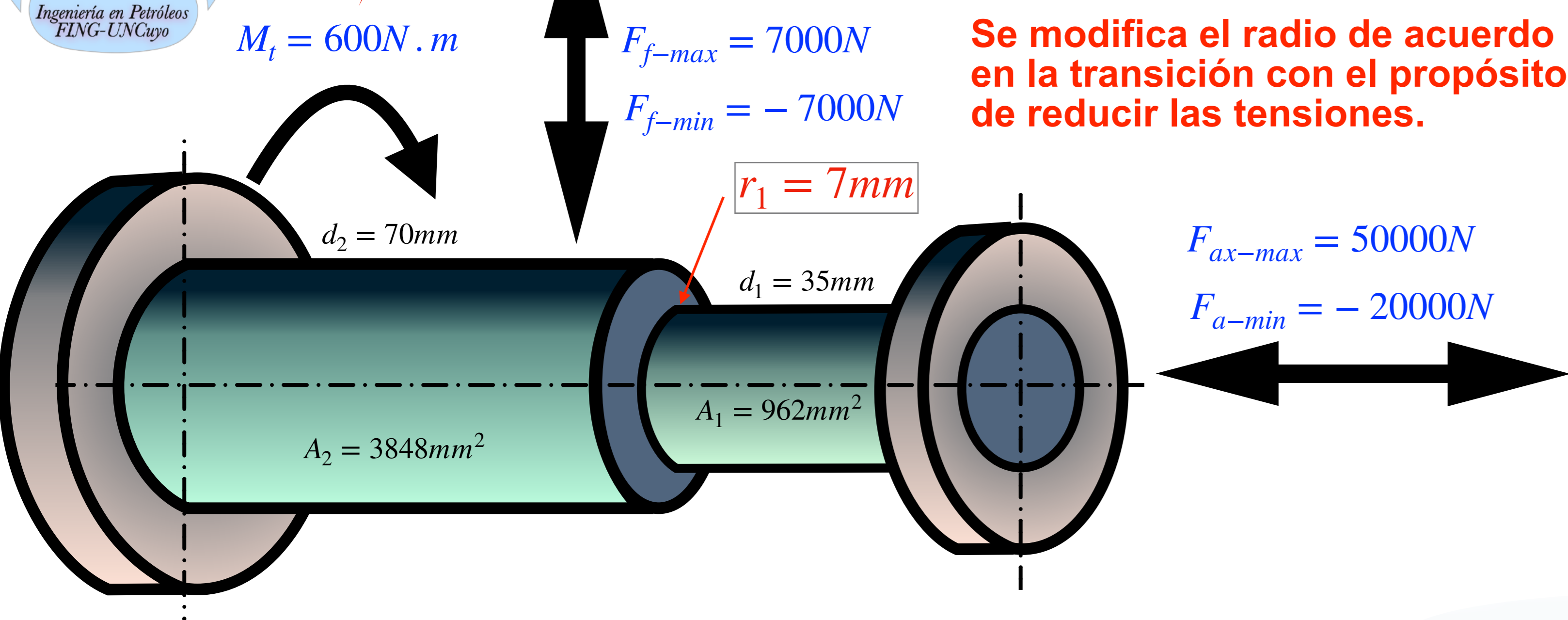
$$\sigma'_a = \sqrt{\left[\left(K_{f-flex} \times \sigma_{f-a} \right) + \left(K_{f-ax} \times \frac{\sigma_{ax-a}}{0,85} \right) \right]^2 + 3 \times \left(K_{fs} \times \tau_a \right)^2}$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\left[\left(1,393 \times 133MPa \right) + \left(1,578 \times \frac{36,4MPa}{0,85} \right) \right]^2 + 3 \times \left(1,2585 \times 0MPa \right)^2} = 252,8MPa = 36671psi$$

$$\sigma'_a = 252,8MPa$$

EJEMPLO 4 (h7)

CALCULO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD



Se modifica el radio de acuerdo en la transición con el propósito de reducir las tensiones.

AISI núm.	Temperatura °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	540 (1 000)	1 030 (150)	910 (132)	17	57	315

Resistencia a la fatiga para el elemento de maquina

$$S'_e = S_{ut} \times 0,5 = 1030MPa \times 0,5 = 515MPa$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

- k_a : factor de modificación de la condición superficial
- k_b : factor de modificación del tamaño
- k_c : factor de modificación de la carga
- k_d : factor de modificación de la temperatura
- k_e : factor de confiabilidad
- k_f : factor de efectos diversos
- S'_e : tensión limite de fatiga de la probeta
- S_e : tensión limite de fatiga de la pieza o elemento de maquina

Factor de Superficie $k_a = a \cdot (S_{ut})^b$

Terminación Superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} en kpsi	S_{ut} en MPa	
Rectificado	1,34	1,58	-0,085
Mecanizado o laminado en frio	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Forjado (en bruto)	39,9	272	-0,995

$$k_a = a \cdot (S_{ut})^b = 1,58 \cdot (1030)^{-0,085} = 0,876$$

Factor de Tamaño

$(d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107}$	$0.11 \leq d \leq 2$ in
$0.91d^{-0.157}$	$2 < d \leq 10$ in
$(d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107}$	$2.79 \leq d \leq 51$ mm
$1.51d^{-0.157}$	$51 < d \leq 254$ mm

$$k_b = 1,51 \cdot (d)^{-0,157} = 1,51 \cdot (70)^{-0,157} = 0,775$$

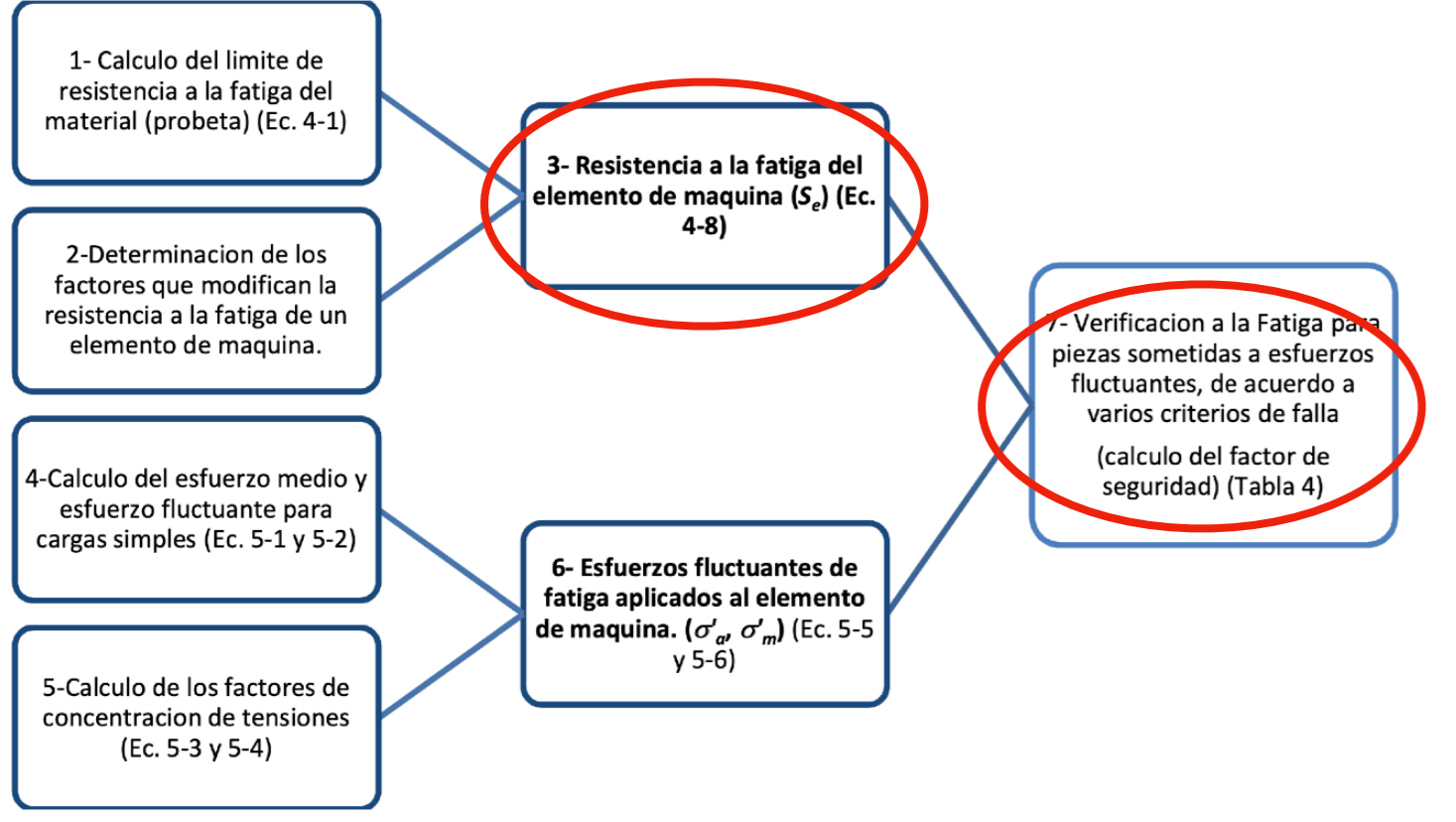
Factor de Confiabilidad

Confiabilidad %	Factor de Confiabilidad k_e
50	1
90	0,897
95	0,868
99	0,814
99,9	0,753
99,99	0,702
99,999	0,659
99,9999	0,62

$$k_e = 0,897$$

$$k_a = 0,876 \quad k_b = 0,775 \quad k_e = 0,897$$

$$S_e = 515MPa \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_e = 314MPa$$



$$\sigma'_m = 157,4MPa \quad \sigma'_a = 252,8MPa$$

$$S_y = 910MPa \quad S_{ut} = 1030MPa \quad S'_e = 515MPa \quad S_e = 314MPa$$

SODERBERG

$$n_{so} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y}} = \frac{1}{\frac{252,8MPa}{314MPa} + \frac{157,4MPa}{910MPa}} = 1,023 \quad \text{Verifica}$$

GOODMAN

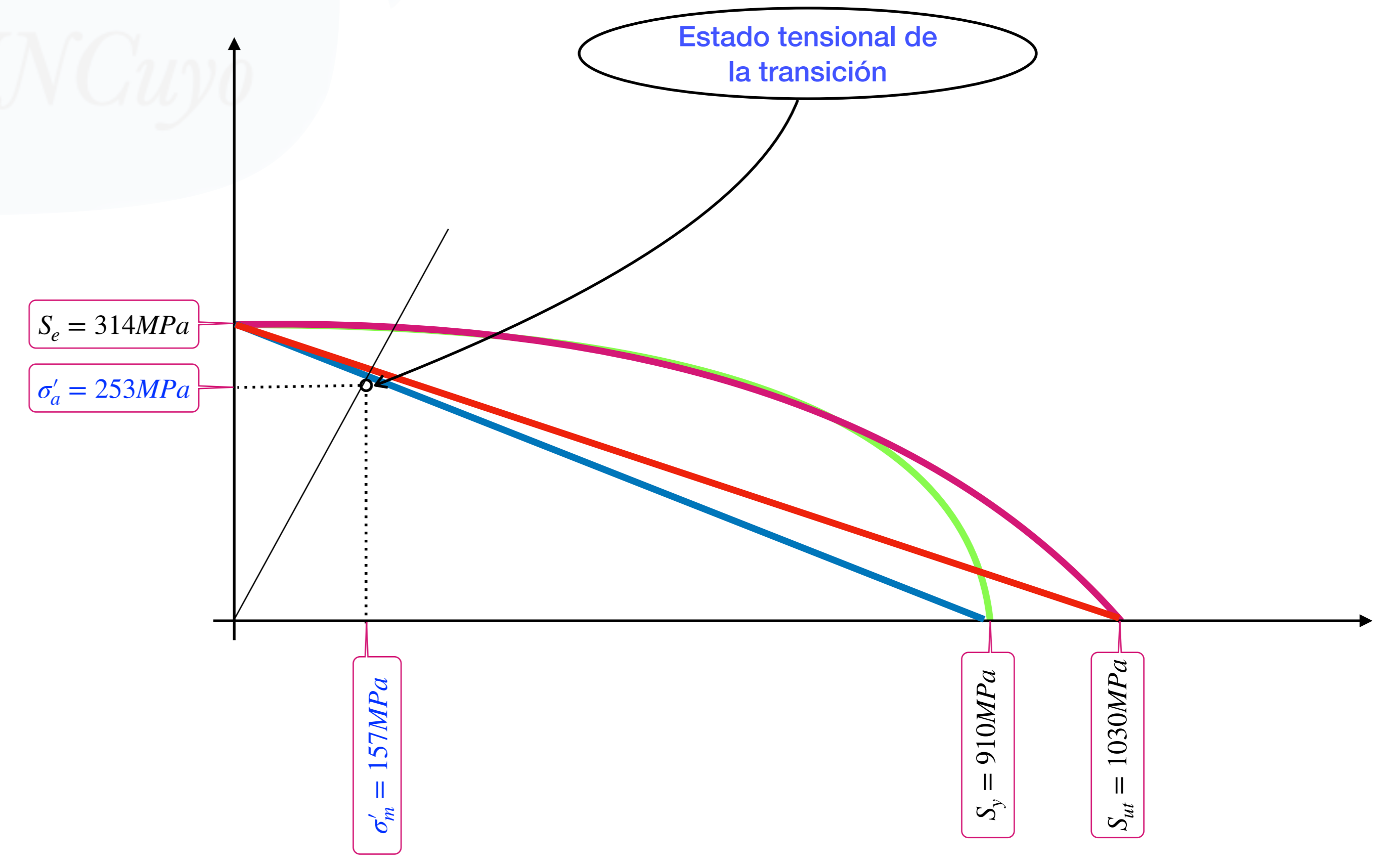
$$n_{go} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{252,8MPa}{314MPa} + \frac{157,4MPa}{1030MPa}} = 1,044 \quad \text{Verifica}$$

ASME

$$n_{as} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{252,8MPa}{314MPa}\right)^2 + \left(\frac{157,4MPa}{910MPa}\right)^2}} = 1,214 \quad \text{VERIFICA!}$$

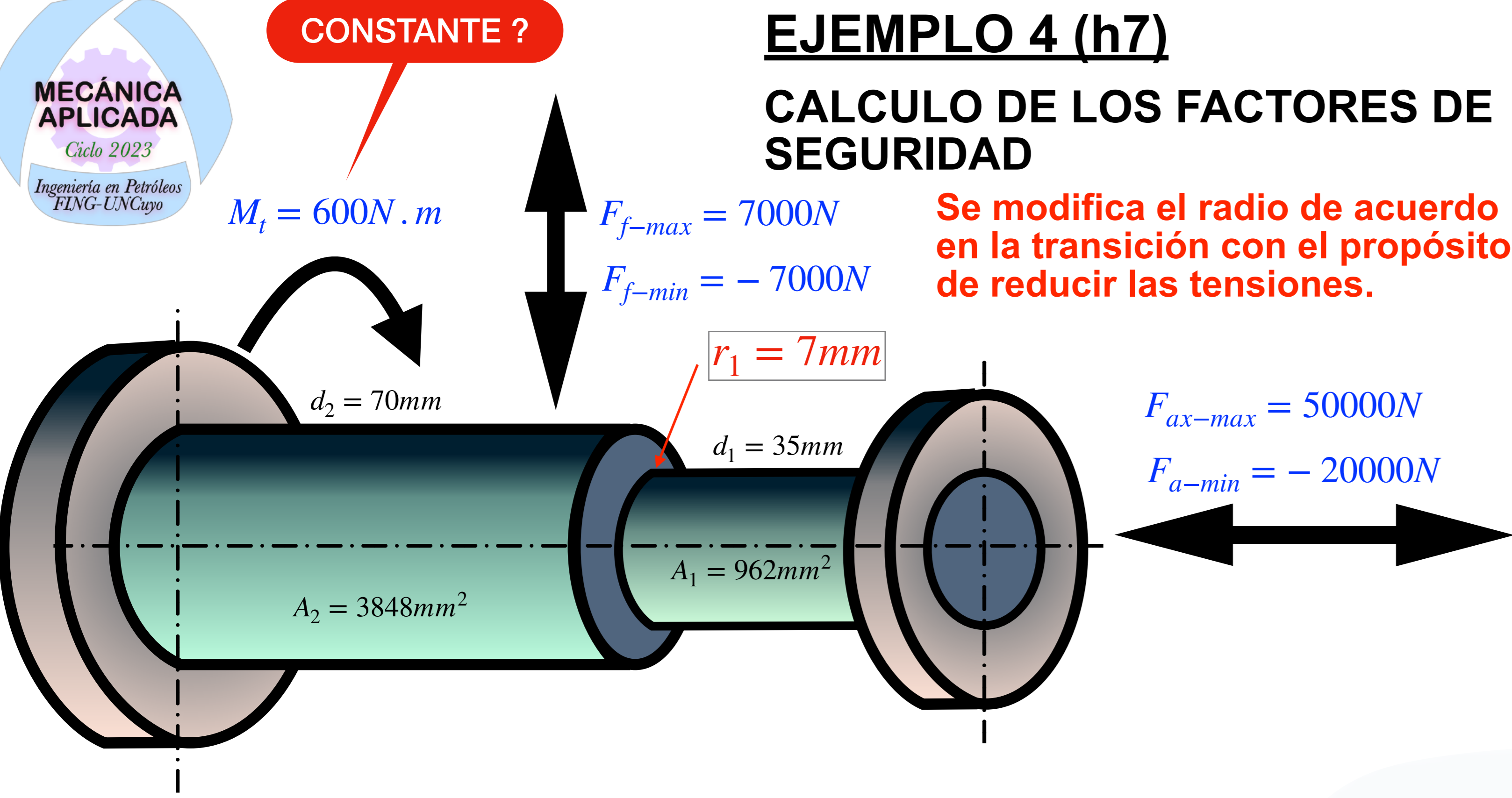
GERBER

$$n_{ge} = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{S_{ut}}{\sigma'_m}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right) \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \left[\frac{2 \cdot \sigma'_m \cdot S_e}{S_{ut} \cdot \sigma'_a}\right]^2}\right]$$

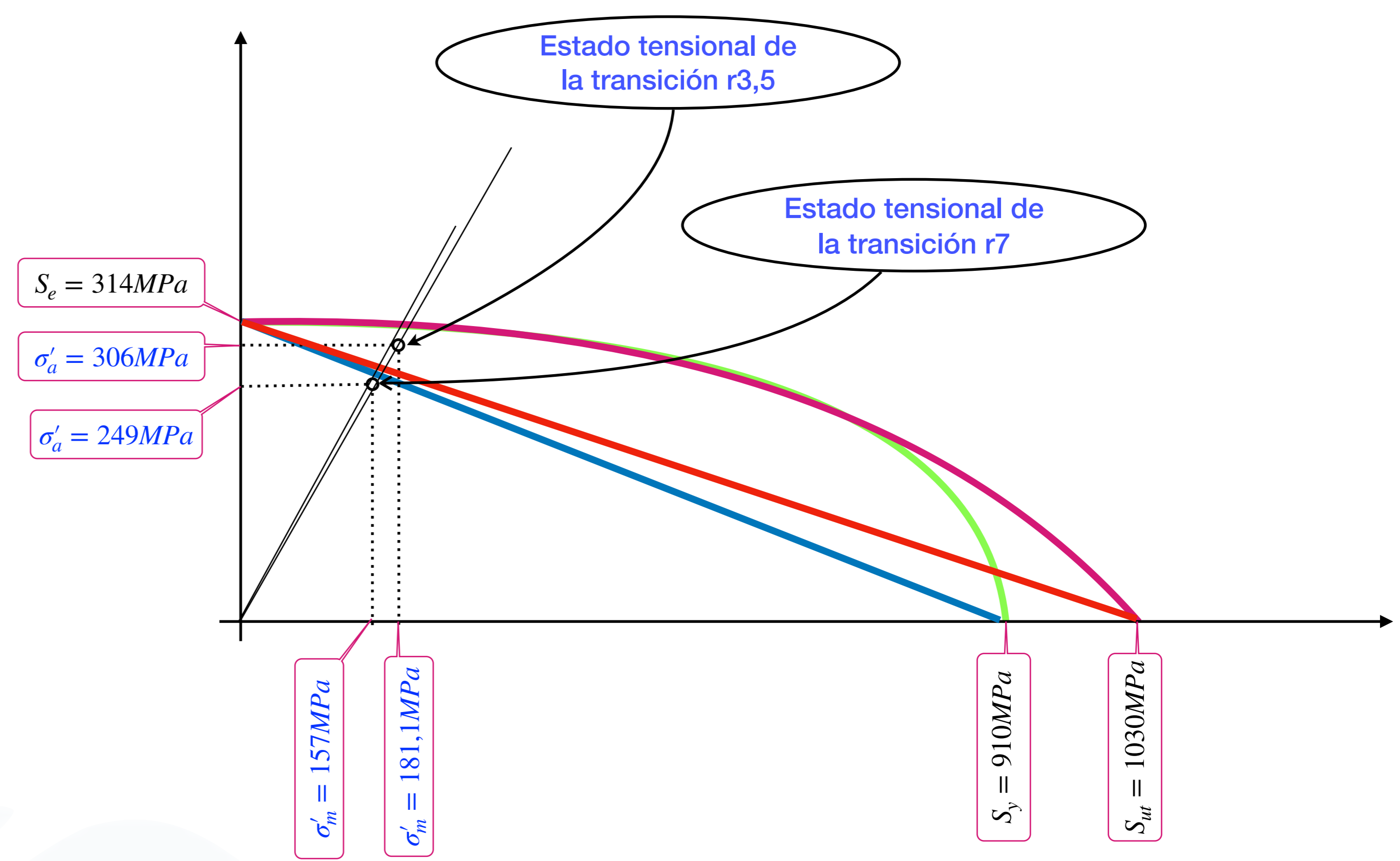


EJEMPLO 4 (h7)

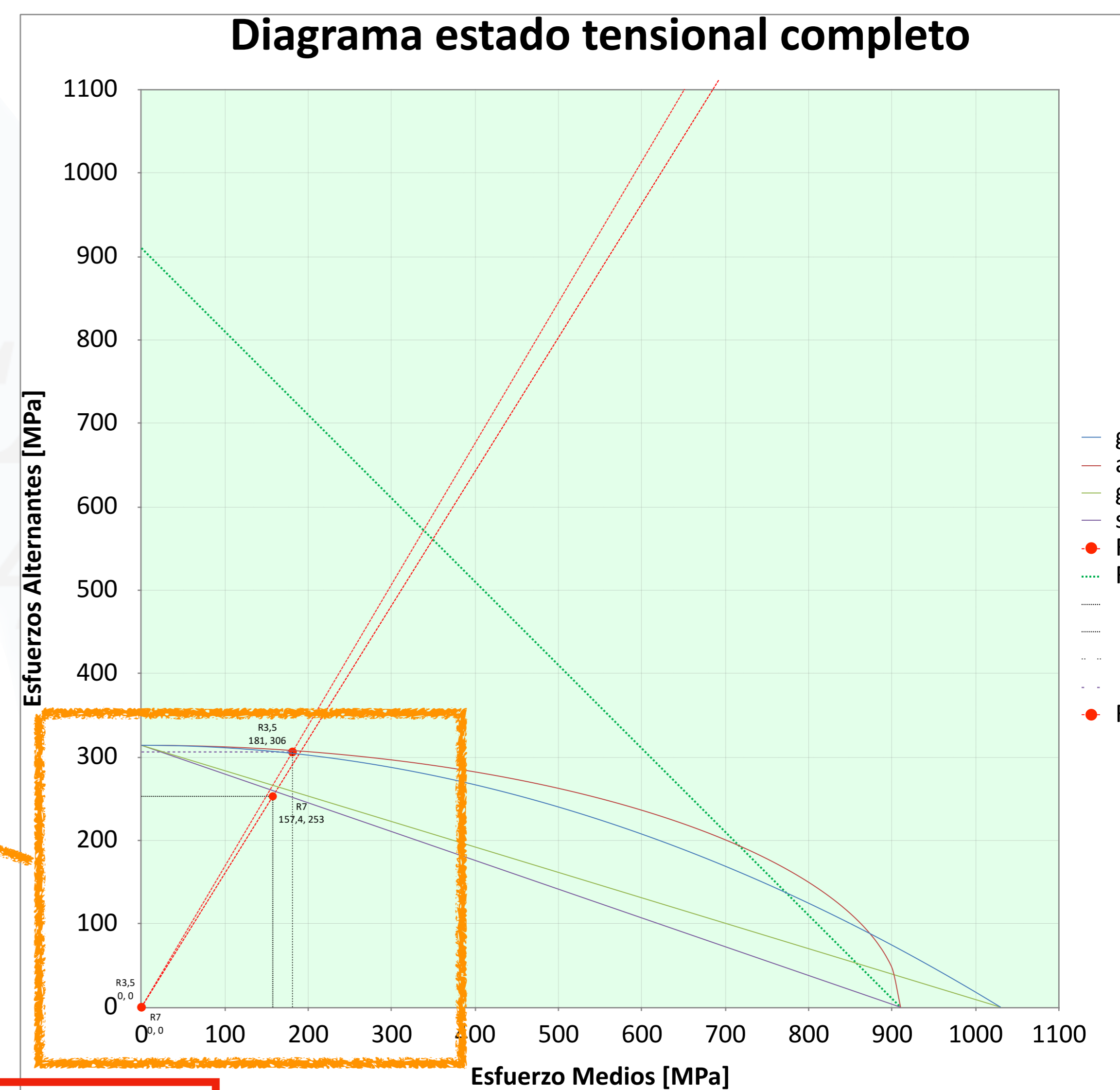
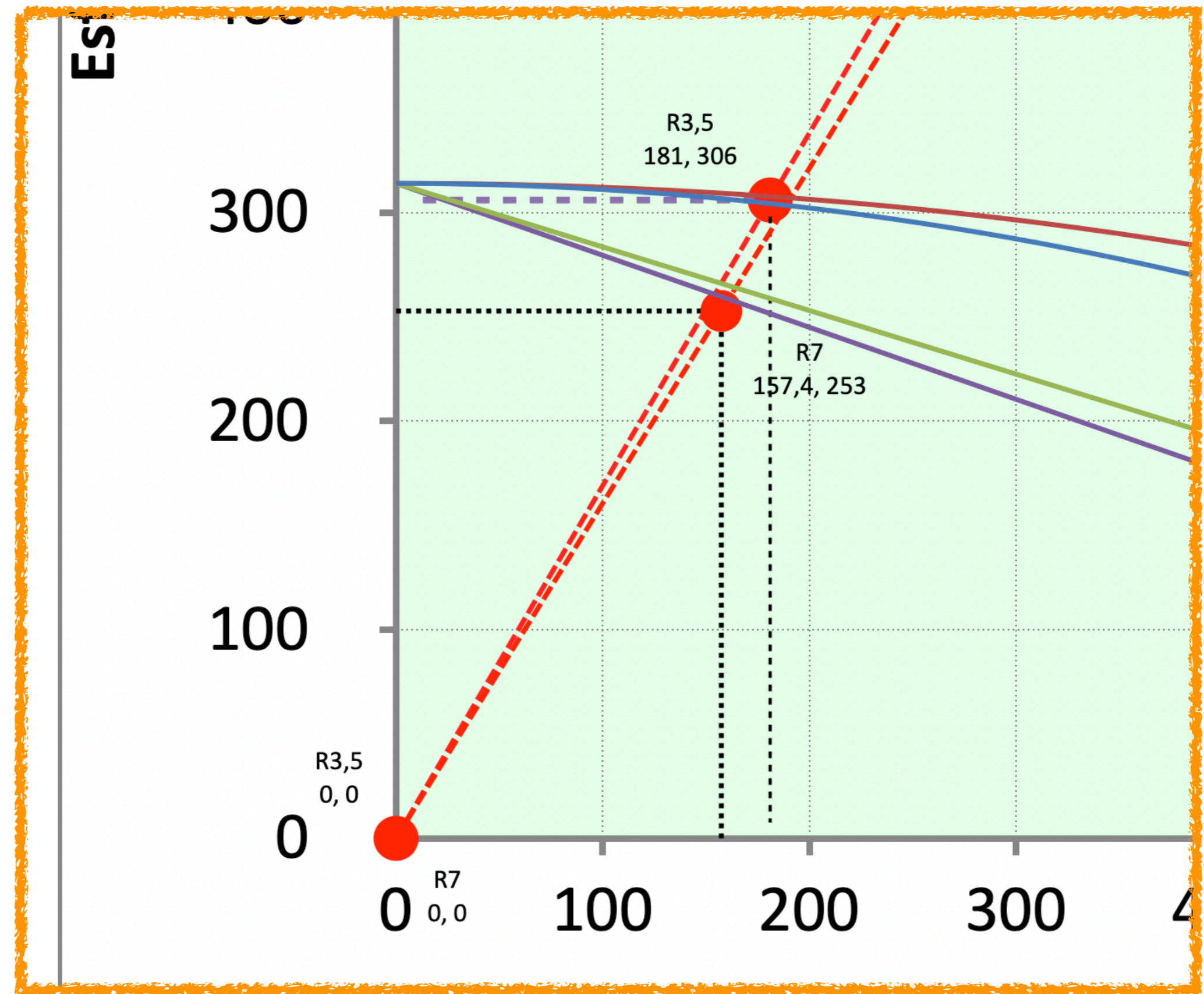
CALCULO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD



Se modifica el radio de acuerdo en la transición con el propósito de reducir las tensiones.



	R3,5	R7
K_{f-ax}	1,897	1,578
K_{f-flex}	1,690	1,393
K_{fs}	1,447	1,258
S_e	314 MPa	
S_y	910 MPa	
S_{ut}	1030 MPa	
σ'_m	181,1 MPa	157,4 MPa
σ'_a	306 MPa	252,8 MPa
$n_{so} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y}}$	0,852	1,023
$n_{go} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}}$	0,869	1,044
$n_{as} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2}}$	1,005	1,214



Criterio	Ec. de la recta	Factor de seguridad	Para graficar
Soderberg	$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{n_{so}}$	$n_{so} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y}}$	$\sigma'_a = S_e \left(1 - \frac{\sigma'_m}{S_y}\right)$
Goodman	$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_{go}}$	$n_{go} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}}$	$\sigma'_a = S_e \left(1 - \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}\right)$
ASME Eliptica	$\left(\frac{n_{as} \cdot \sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n_{as} \cdot \sigma'_m}{S_y}\right)^2 = 1$	$n_{as} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2}}$	$\sigma'_a = S_e \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2}$
Gerber	$\frac{n_{ge} \cdot \sigma'_a}{S_e} + \left(\frac{n_{ge} \cdot \sigma'_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$	$n_{ge} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{S_{ut}}{\sigma'_m}\right)^2 \cdot \frac{\sigma'_a}{S_e} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \sigma'_m \cdot S_e}{S_{ut} \cdot \sigma'_a}\right)^2}\right]$	$\sigma'_a = S_e \left(1 - \left(\frac{\sigma'_m}{S_{ut}}\right)^2\right)$
Fluencia	$\sigma'_a + \sigma'_m = \frac{S_y}{n_{fl}}$	$n_{fl} = \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m}$	$\sigma'_a = S_y - \sigma'_m$