



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**TEMA: “ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE MASA Y EL CALOR GENERADO EN UN PAR DE FRICCIÓN
BRONCE ACERO SOMETIDO A ENERGÍA MECÁNICA DE FRICCIÓN”**

AUTORES:

**NÚÑEZ MORALES, JUAN SEBASTIÁN
PAREDES PAREDES, LUIS FERNANDO**

**DIRECTOR ING. ANDRADE, VÍCTOR
SANGOLQUÍ - ECUADOR 2016**



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES





INTRODUCCIÓN



Búsqueda de nuevas formas de energía.

La fricción es considerada pérdida de energía en aplicaciones varias.



Estudio de la masa desgastada por calor producido.

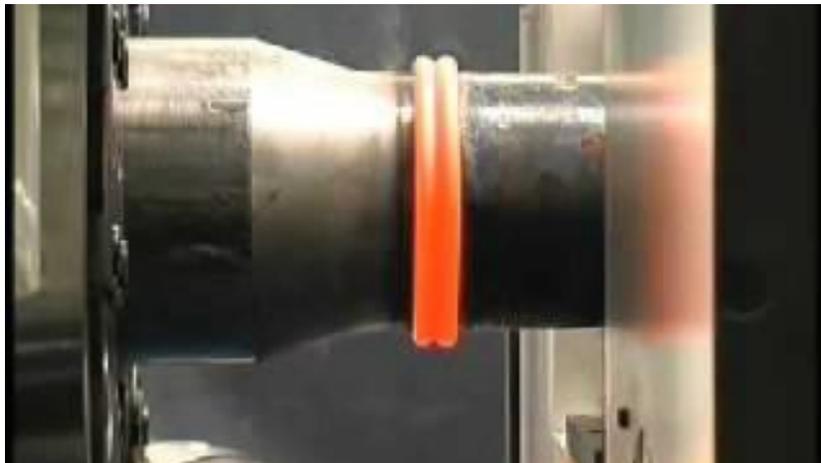




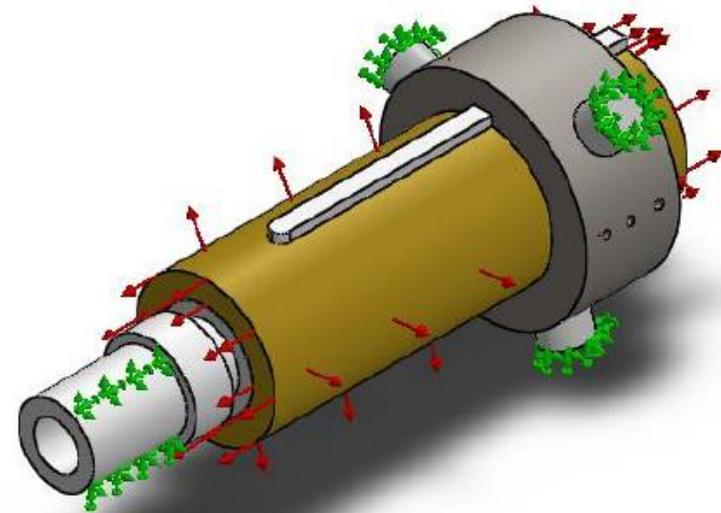
ANTECEDENTES



Soldadura por fricción.



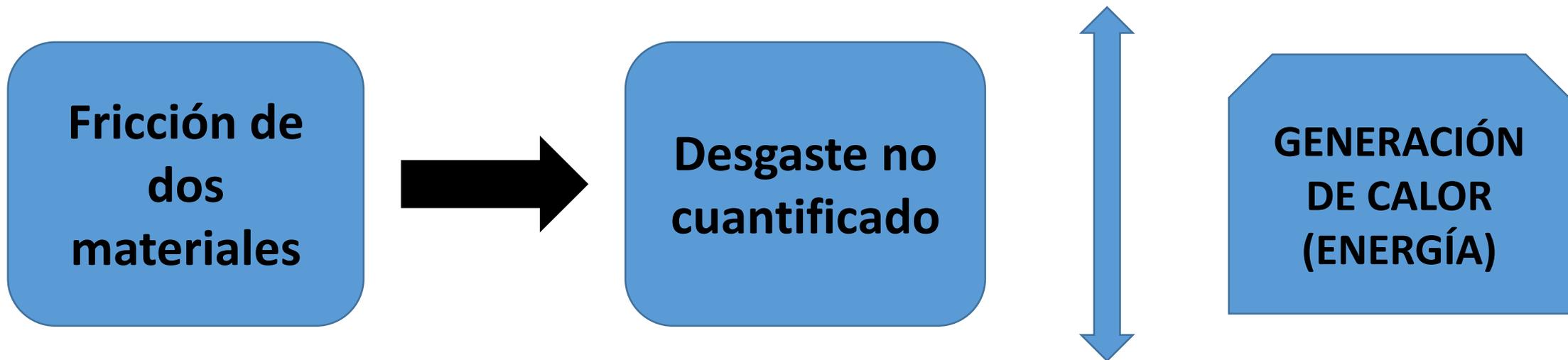
Pruebas de rozamiento por parte del Ingeniero José Guasumba.





DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

No existe un análisis de la pérdida de masa y el calor generado en un par de fricción bronce acero sometido a energía mecánica de fricción.



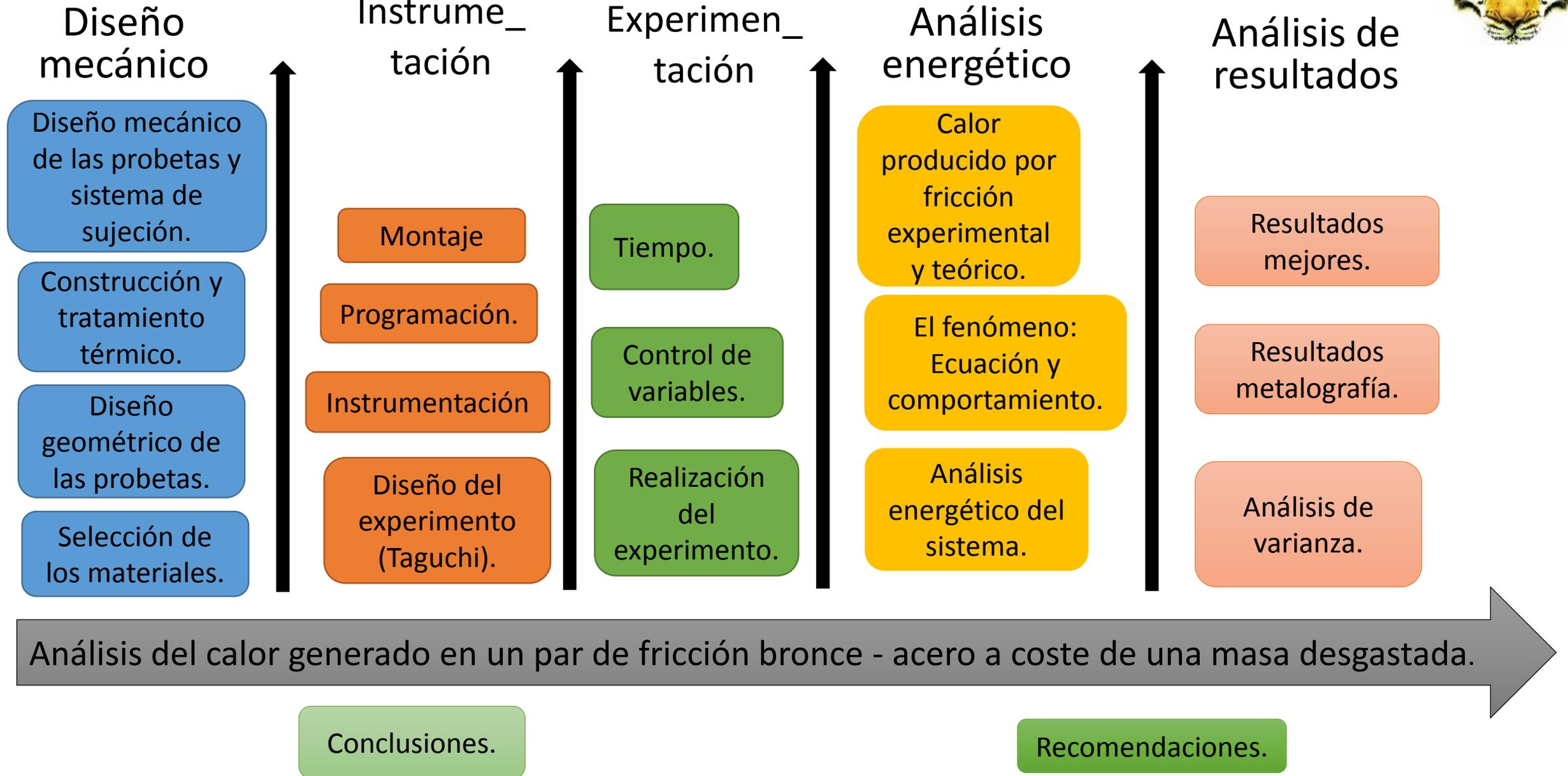
OBJETIVOS

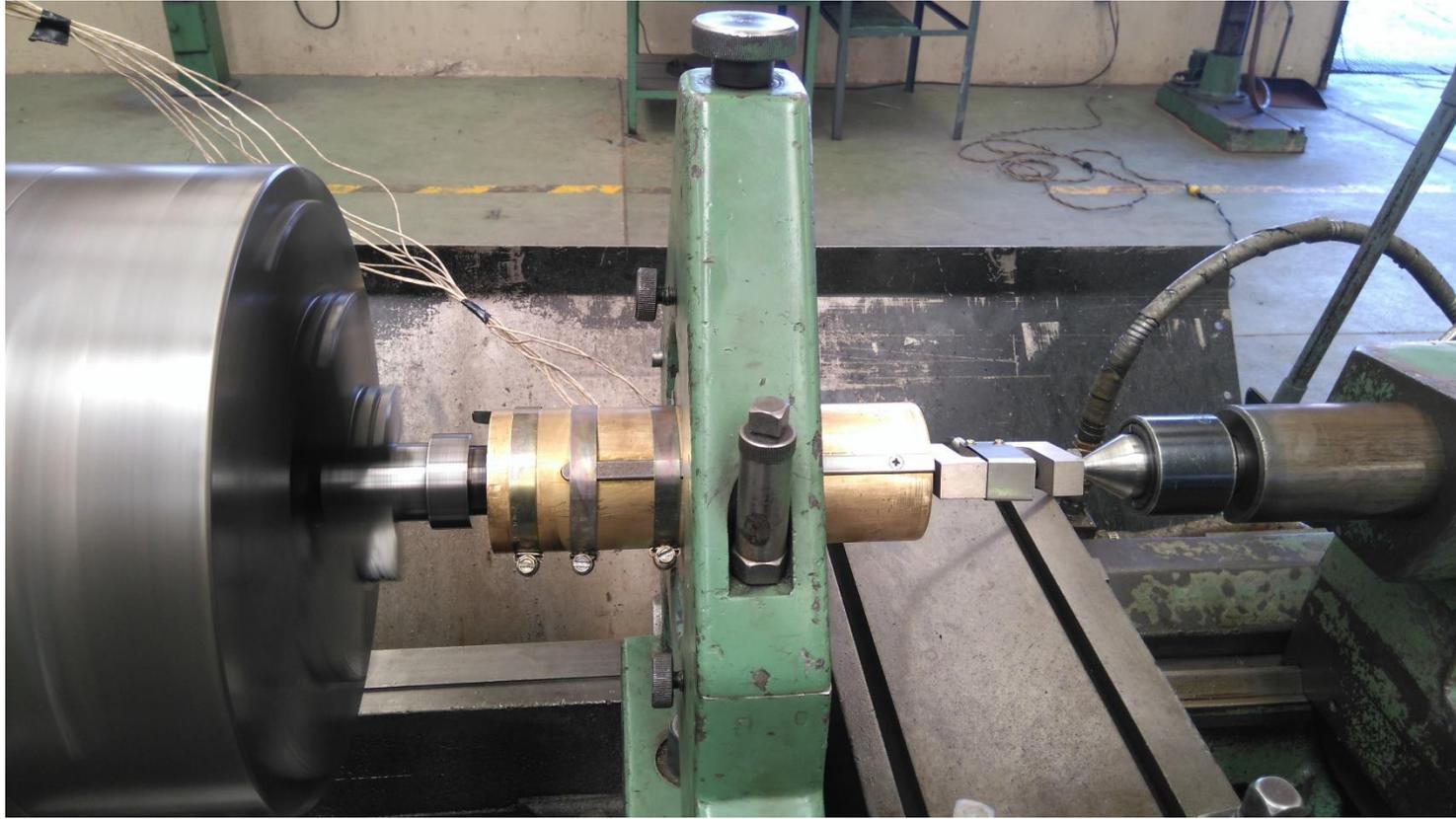
- GENERAL

Realizar el análisis la pérdida de masa y el calor generado en un par de fricción bronce acero sometido a energía mecánica de fricción.

- ESPECÍFICOS

- Determinar la geometría de las probetas de bronce y de acero así como su dimensionamiento óptimo.
- Diseñar la estructura de sujeción de las probetas al mecanismo de rotación.
- Analizar los parámetros energéticos de los experimentos mediante los ensayos experimentales variando la fuerza de aplastamiento y la velocidad de rotación.

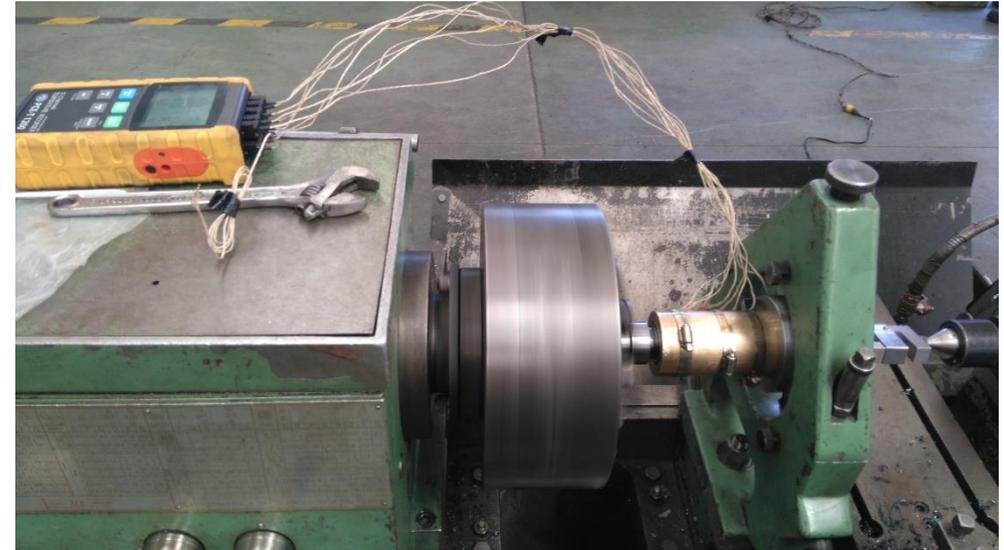






JUSTIFICACIÓN

Primera en la generación de calor a partir de energía mecánica de fricción.

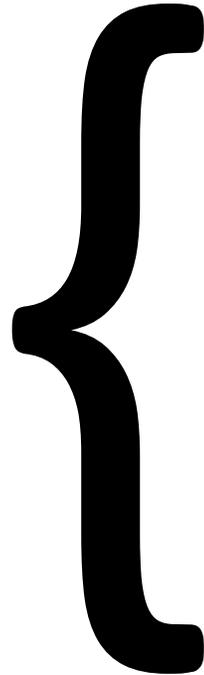


Aplicaciones futuras

Cuantificar el calor generado a coste de una masa perdida (desgastada).



Universidad de las fuerzas Armadas - ESPE





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS PROBETAS





PARÁMETROS GENERALES MECÁNICOS DEL EXPERIMENTO

- Dos probetas de bronce y acero respectivamente se someterán a fricción mediante la potencia de rotación (torque) de un torno de 10CV.
- La probeta de bronce se mantendrá fija mediante una chaveta bloqueada en un anillo.
- El anillo se sujeta a una luneta (accesorio del torno) y esta a su vez a la bancada del torno.
- La probeta de acero rota en el mandril del torno, la forma de montaje se especificará al final de esta sección.
- Las dos probetas se friccionan mediante la fuerza de aplastamiento que proporciona el contra punto.
- La fuerza de aplastamiento que proporciona el punto a la probeta de bronce es medida mediante una celda de carga.



DISEÑO MECÁNICO DE LA PROBETA DE ACERO

- Los ensayos realizados a partir del año 2003 por el profesor José Guasumba determinaron que la dureza del material en la cara de rozamiento debe ser superior a 62HRC [J.S.Guasumba, 2004].
- Además, [Sato et al., 2001] establece que la dureza alta de los materiales transforma más calor para lograr la soldadura en aluminios.



Matriz de Decisión para Selección del Material de la Probeta de Acero.

MODELO DE DECISIÓN		ALTERNATIVAS					
		Acero DF2		Acero K100		Acero K412	
CRITERIO	PESO	RF	A	RF	B	RF	C
Disponibilidad	0.4	10	3.4	5	2	5	2
Dureza > 50HRC	0.15	10	1.5	10	1.5	8	1.2
Res. Fluencia >2200 MPa	0.2	10	2	10	2	10	2
Maquinabilidad	0.1	8	0.8	8	0.8	10	1
Tratamiento Térmico	0.15	10	1.5	10	1.5	10	1.5
TOTAL	1		9.2		7.8		7.7
PRIORIDAD			1		2		3



CARACTERÍSTICAS ACERO ARNE DF2

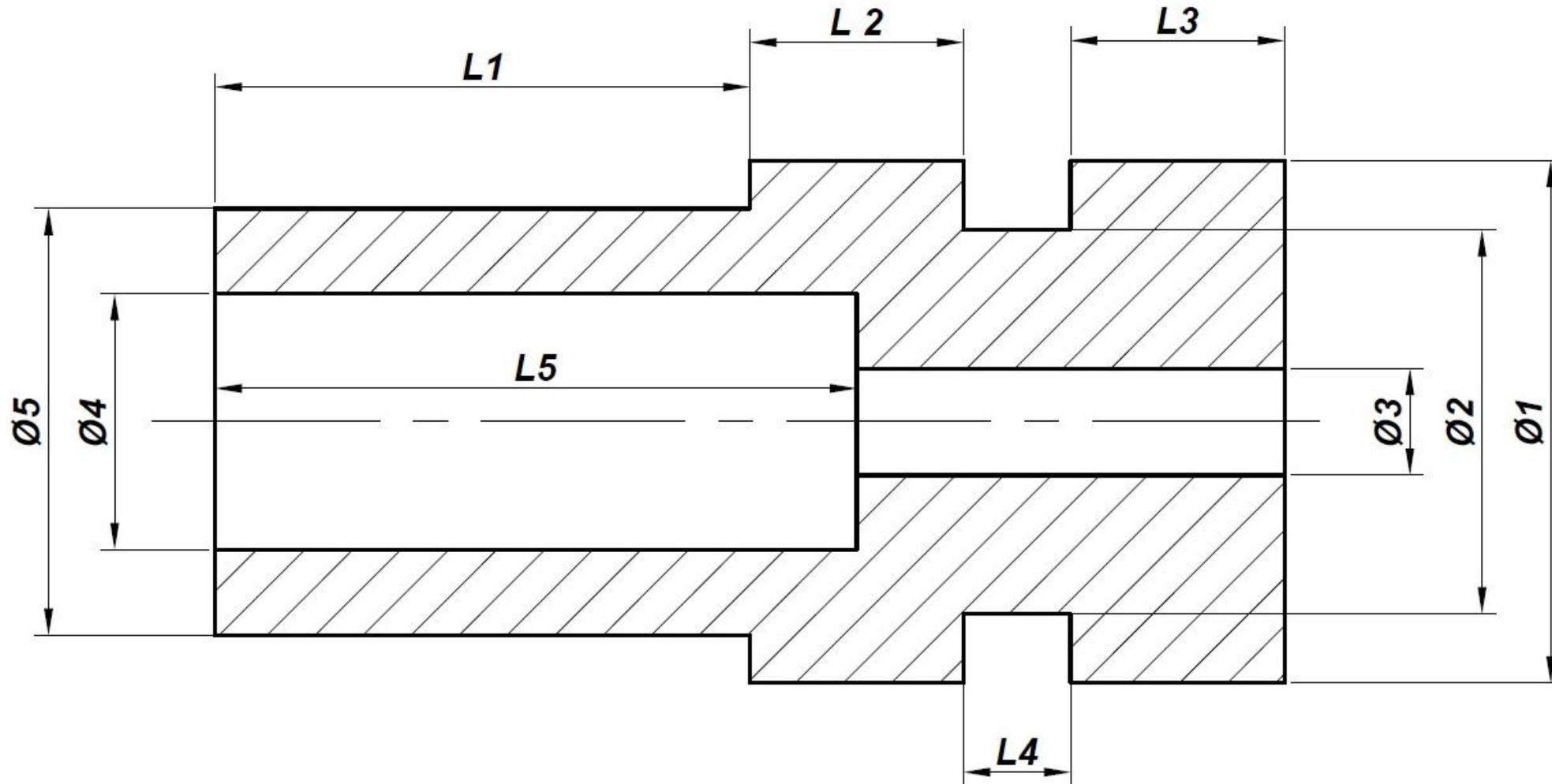
- Buena combinación de dureza superficial y tenacidad tras el temple y revenido necesario para resistir la fricción del experimento, ver datos de templado en la subsección 3.2.4 .
- La dureza del acero es de 190 Brinell. Y, después del temple y revenido la probeta alcanza 63 HRC de dureza.
- Buena maquinabilidad lo que garantiza la fabricación de la probeta.
- Estabilidad dimensional después del temple, necesario para cumplir con las precisiones dimensionales que el experimento demanda. Ver planos en Anexo B
- Las aplicaciones de este material son: herramientas de corte, matrices, herramientas de medición, elementos y piezas de fricción.

Propiedades Mecánicas del Acero DF2.

Propiedad	Sistema SI
Resistencia a la compresión	3040MPa
Límite de rotura	2256MPa
Módulo de elasticidad a 20° C	190GPa
Densidad	7800kg/m ³

Fuente: [Uddeholm, 2002].

- DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA PROBETA DE ACERO



• PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA PROBETA DE ACERO

- La fricción entre el acero y el bronce en el caso más crítico pueden llegar a detenerse, producir rotura en la probeta, producir daños en la caja Norton del torno, daños en el motor eléctrico, o daños en los accesorios, como la luneta y sus pines, en el punto, o en las muelas del mandril mediante esfuerzos de torsión y aplastamiento.
- Las fuerzas de aplastamiento varían entre 110 kg y 500 kg medidos en la celda de carga.
- El tiempo promedio de fricción de los dos materiales es 4 horas.
- Para el diseño mecánico se tomará la temperatura máxima alcanzada en los experimentos anteriores. El valor es de 600 °C [J.S.Guasumba, 2004].
- La probeta será maquinada torneada.
- La probeta será tratada térmicamente.
- El torque máximo del torno depende de las especificaciones técnicas del mismo:
 - Potencia del torno a 2 velocidades 10-10 CV
 - Número de velocidades 18.
 - Valor de velocidades 20-1600 rpm.

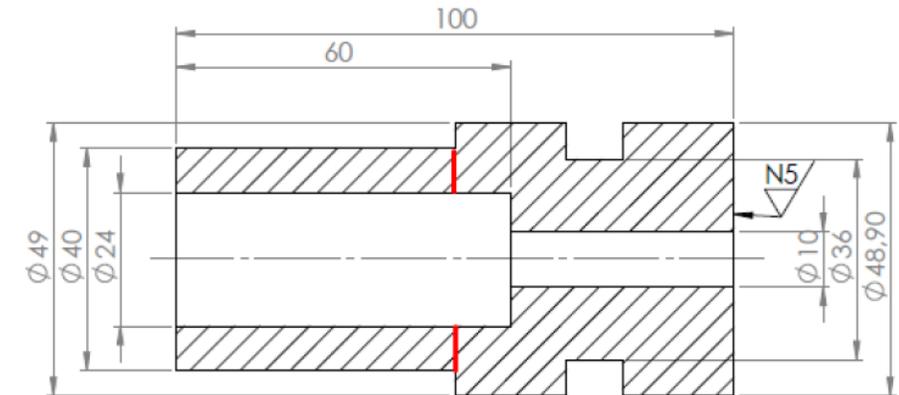


Figura 23: Área Crítica de Diseño.



• DISEÑO MECÁNICO: CÁLCULOS

$$P = 10 \text{ [CV]} \frac{0.73549875 \text{ [kW]}}{1 \text{ [CV]}} = 7.35498 \text{ [kW]},$$

$$T_{max} = \frac{7.3549(9550)}{130} = 540.26 \text{ [Nm]}$$

$$J = \frac{\pi}{32} (40^4 - 24^4)$$

$$J = 2.188 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]},$$

$$\tau = \frac{540.26 \text{ [Nm]} 18 \text{ [mm]} \frac{1 \text{ [m]}}{1000 \text{ [mm]}}}{2.188 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}}$$

$$\tau = 49.394 \text{ [MPa]},$$

$$\sigma_b = -E_b \alpha \Delta T(x) + \frac{1}{2c} \int_0^c E_b \alpha \left(T_f + \frac{\dot{q}}{2k} (x_1^2 - x^2) - T_a \right) dx$$

$$+ \frac{3x}{2c^2} \int_0^c E_b \alpha \left(T_f + \frac{\dot{q}}{2k} (x_1^2 - x^2) - T_a \Delta T(x) \right) x dx$$

$$\sigma_b = -62 \text{ GPa} \cdot 20.9 \mu\text{m/mK} \cdot 570^\circ\text{C} + 362.389 \text{ MPa} + 541.431 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 190.523 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_b}{E_b}$$

$$\varepsilon = \frac{190.523 \text{ MPa}}{62 \text{ GPa}}$$

$$\varepsilon = 3.07 \times 10^{-3}$$

$$F_c = 59690 \text{ N}$$

$$L_f = \varepsilon \cdot L_b + L_b = 0.22067 \text{ m}$$

$$\Delta L = L_f - L_b = 0.657 \text{ mm}$$



• DISEÑO MECÁNICO: CÁLCULOS

$$\sigma_{aplas} = \frac{F + F_c}{A}$$

$$\sigma_{aplas} = \frac{64690 \text{ [N]}}{804.248 \text{ [mm}^2\text{]}}$$

$$\sigma_{aplas} = 80.44 \text{ [MPa]},$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{aplas}^2 - 3\tau^2}$$

$$\sigma = \sqrt{80.44^2 - 3(49.394)^2}$$

$$\sigma = 117.428 \text{ [MPa]}$$

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

$$\sigma_a = \frac{117.428 \text{ [MPa]} - 0 \text{ [MPa]}}{2}$$

$$\sigma_a = 58.714 \text{ [MPa]}$$

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

$$\sigma_m = \frac{117.428 \text{ [MPa]} + 0 \text{ [MPa]}}{2}$$

$$\sigma_m = 58.714 \text{ [MPa]},$$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{F_s}$$

$$F_s = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$F_s = \frac{1}{\frac{58.714}{119.53} + \frac{58.714}{2256}} = 1.93$$

$$S_{enm} = 700 \text{ [MPa]} \quad S_{ut} > 1400 \text{ [MPa]}$$

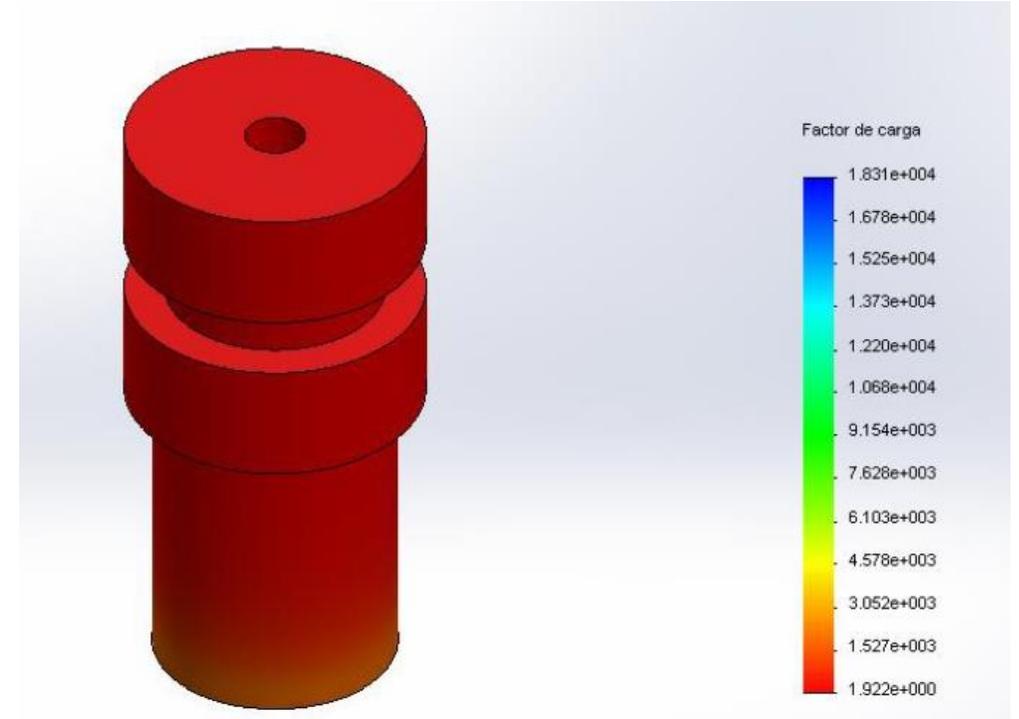
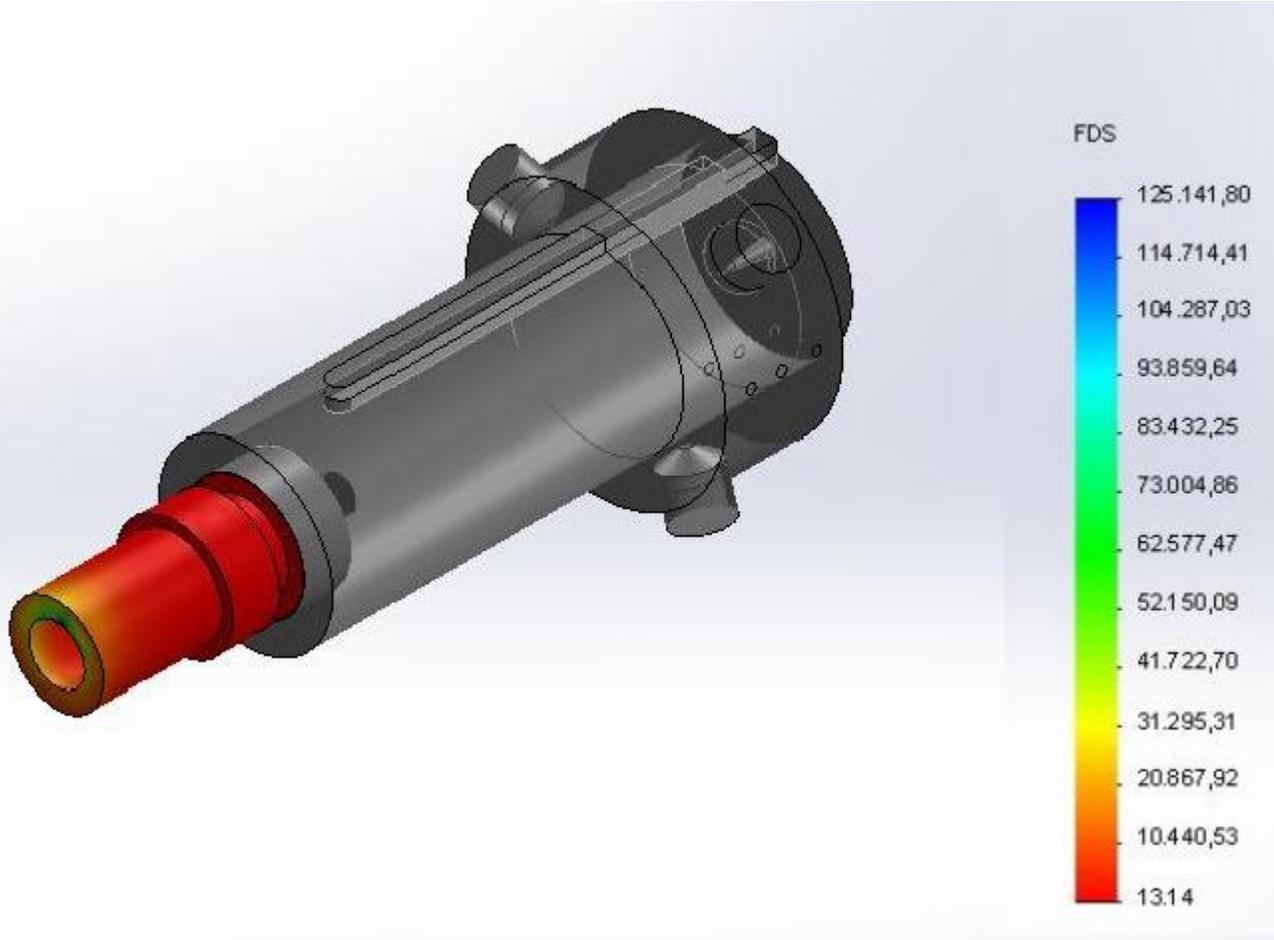
$$S_e = S_{enm}k_a k_b k_c k_d k_e$$

$$S_e = 700 \text{ [MPa]}(0.583)(0.925)(0.557)(0.549)(1)$$

$$S_e = 119.53 \text{ [MPa]}$$

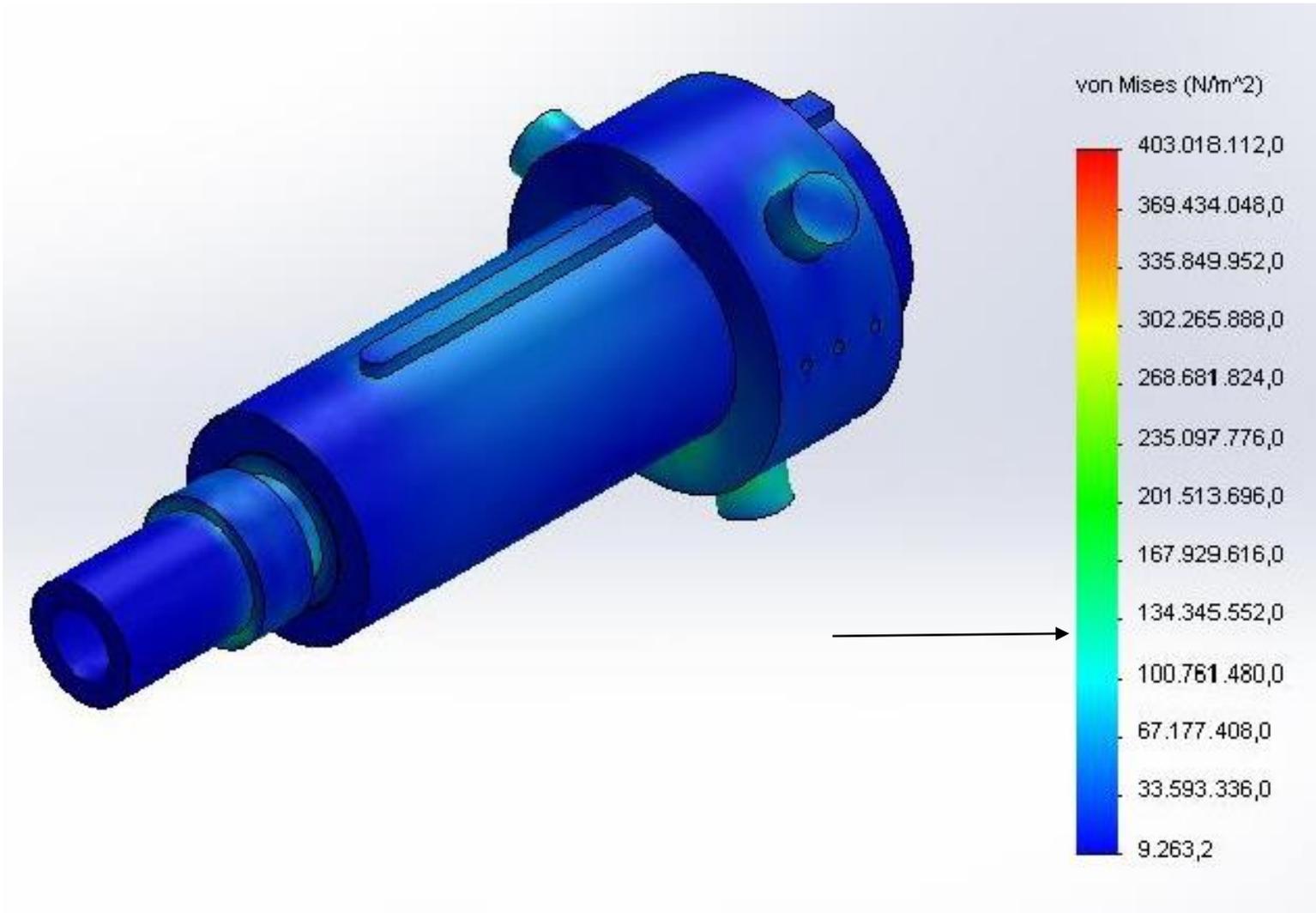


- DISEÑO MECÁNICO: SIMULACIÓN DE LA PROBETA DE ACERO





- DISEÑO MECÁNICO: SIMULACIÓN DE LA PROBETA DE ACERO



$$\sigma = 117.428 \text{ [MPa]}$$



TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA PROBETA DE ACERO



Tempering graph

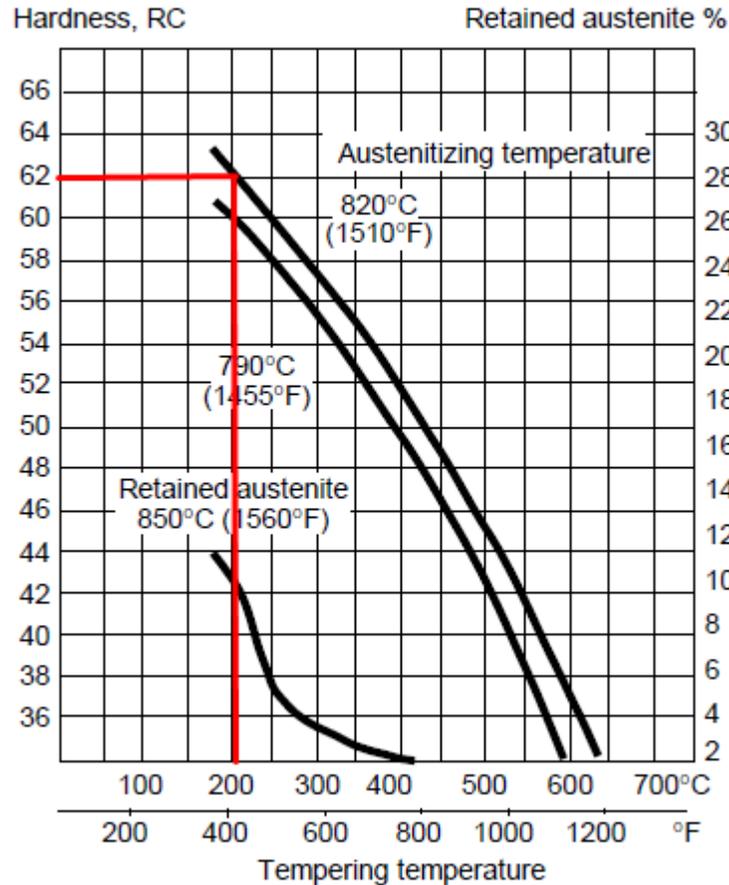


Diagrama de revenido para ASSAB DF-2

Valores aproximados. Probeta de $\varnothing 49$ mm. Enfriado en aceite. Tiempo de mantenimiento 2 horas.

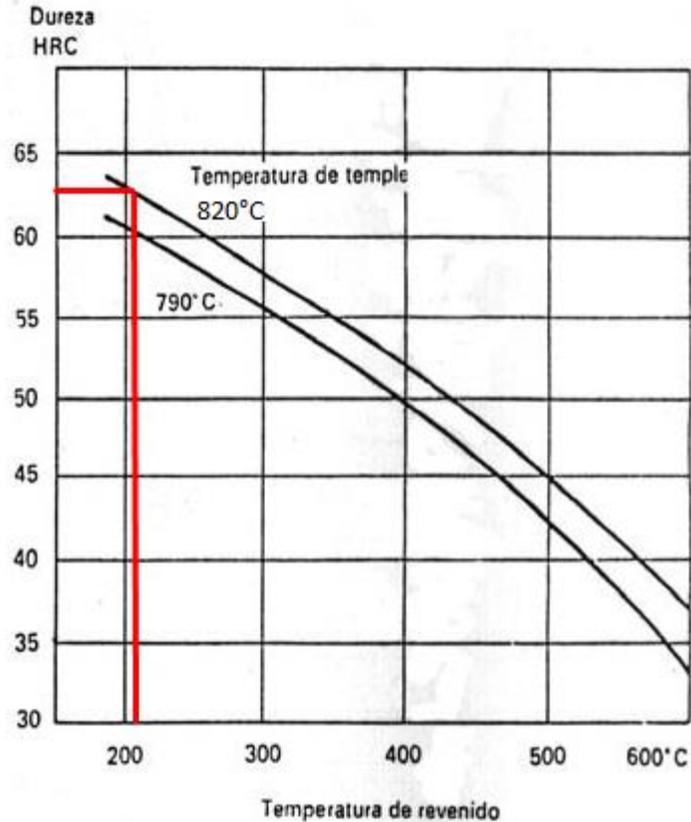
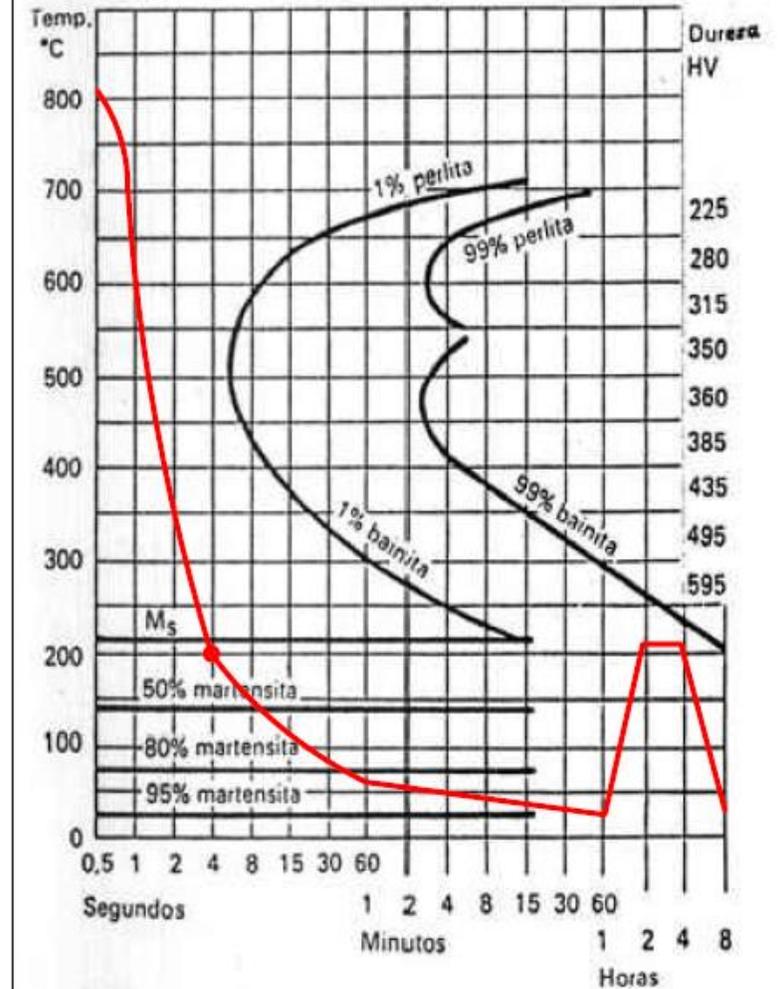


Diagrama TTT para ASSAB DF-2
Temperatura de temple: 820 °C



DISEÑO MECÁNICO DE LA PROBETA DE BRONCE

SELECCIÓN DEL MATERIAL

Matriz de Decisión para Selección del Material de la Probeta de Bronce.

MODELO DE DECISIÓN		ALTERNATIVAS			
		Bronce Dulce UNS 35800		Bronce Fosfórico SAE 640	
CRITERIO	PESO	RF	(A)	RF	(B)
Disponibilidad	0,5	10	5	9	4.5
Dureza ≤ 75 Rockwell B	0,2	9	1,8	8,5	1,7
Res. Fluencia > 140 MPa	0,2	10	2	10	2
Maquinabilidad	0,1	8	0,8	6	0,6
TOTAL	1		9,6		8.8
PRIORIDAD			1		2

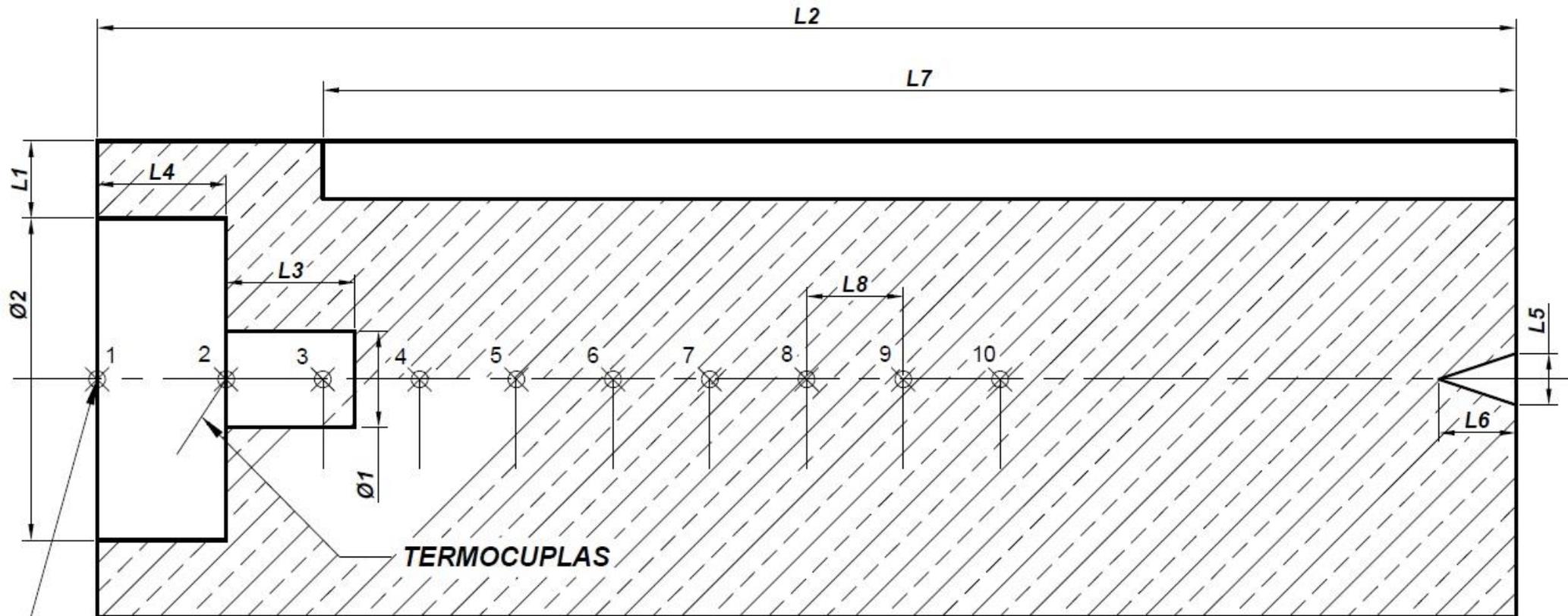
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA PROBETA DE BRONCE

Propiedades Mecánicas del Bronce UNS C35800.

Propiedad	Sistema SI
Resistencia a la tensión	140MPa
Límite de rotura	415MPa
Módulo de elasticidad a 20° C	97GPa
Densidad	8470kg/m ³

Fuente: [Davis et al., 2001].

- DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA PROBETA DE BRONCE



Haz de luz del láser
para determinar la
temperatura.

$$\sigma_{(c)} = -\frac{3\alpha(\Delta T)E}{1-\nu},$$

$$\sigma_{bronce(c)} = -\frac{3(18.7 * 10^{-6} [1/^{\circ}\text{C}])(580 - 30) [^{\circ}\text{C}](82740 [\text{MPa}])}{1 - 0.31}$$

$$\sigma_{bronce(c)} = -3700 [\text{MPa}],$$

$$\sigma_{acero(c)} = -\frac{3(10.8 * 10^{-6} [1/^{\circ}\text{C}])(520 - 30) [^{\circ}\text{C}](170000 [\text{MPa}])}{1 - 0.31}$$

$$\sigma_{acero(c)} = -3775 [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{com} = \sigma_{bronce(c)} - \sigma_{acero(c)}$$

$$\sigma_{com} = -3700 - (-3775)$$

$$\sigma_{com} = -75 [\text{MPa}]$$

$$FS_{bronce} = \frac{S_{ybronce}}{\sigma_{com}}$$

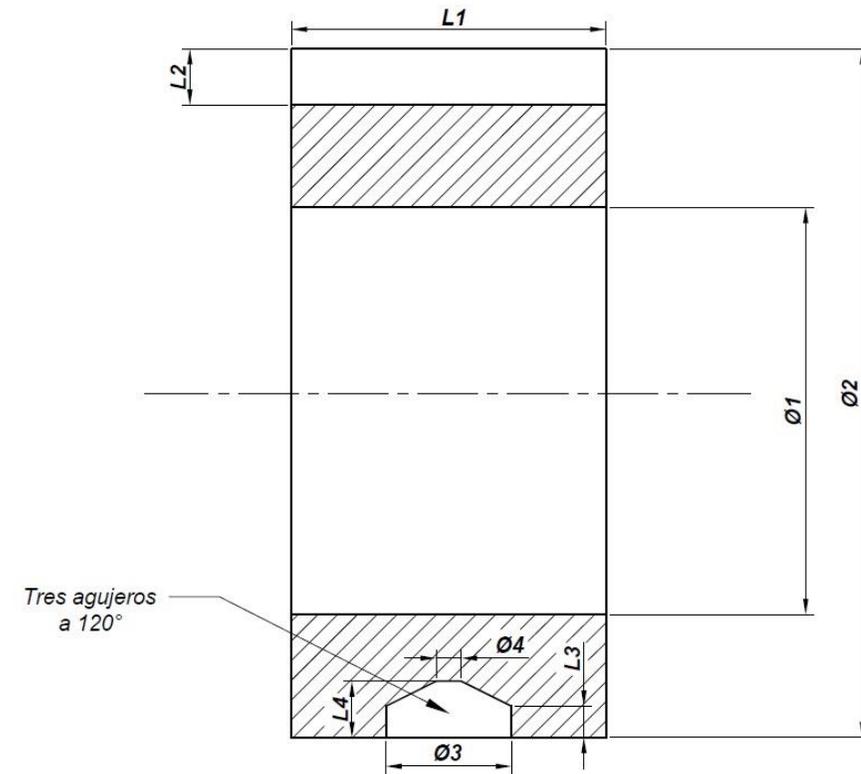
$$FS_{bronce} = \frac{140 [\text{MPa}]}{75 [\text{MPa}]}$$

$$FS_{bronce} = 1.86$$

DISEÑO MECÁNICO DEL ANILLO DE SUJECCIÓN

MATERIAL SELECCIONADO

- Disponibilidad en el mercado en tubería sin costura y con los diámetros requeridos
- De fácil maquinado y fabricación.
- Se selecciona un SAE 1024 en barra perforada con las siguientes características:



Propiedades Mecánicas del Acero SAE 1024.

Propiedad	Sistema SI
Resistencia a la tensión	804MPa
Límite de rotura	843.3MPa
Módulo de elasticidad a 20° C	200GPa
Densidad	7800kg/m ³

Fuente: [Bohman, 2016].



- DISEÑO MECÁNICO: CÁLCULOS

$$\sigma_{t_{anillo}} = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r_i^2}\right),$$

$$\sigma_{t_{anillo}} = \frac{37^2 [\text{mm}^2](75 [\text{MPa}])}{55^2 [\text{mm}^2] - 37^2 [\text{mm}^2]} \left(1 + \frac{55^2 [\text{mm}^2]}{37^2 [\text{mm}^2]}\right)$$

$$\sigma_{t_{anillo}} = -198.809 [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{r_{anillo}} = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r_i^2}\right),$$

$$\sigma_{r_{anillo}} = \frac{37^2 [\text{mm}^2](75 [\text{MPa}])}{55^2 [\text{mm}^2] - 37^2 [\text{mm}^2]} \left(1 - \frac{55^2 [\text{mm}^2]}{37^2 [\text{mm}^2]}\right)$$

$$\sigma_{r_{anillo}} = 74.92 [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{t_{a(real)}} = \sigma_{t_{anillo}} * kt,$$

$$\sigma_{t_{a(real)}} = 198.809 [\text{MPa}] * 2.2 = 437.38 [\text{MPa}]$$

$$FS_{anillo} = \frac{S_{yanillo}}{\sigma_{t_{a(real)}}} = \frac{804 [\text{MPa}]}{437.38 [\text{MPa}]} = 1.83$$

DISEÑO MECÁNICO DE LA CHAVETA

MATERIAL SELECCIONADO

- Se selecciona un material propio de chavetas disponible en el mercado y con las dimensiones estándar.
- Acero AISI 1018 estirado en frío con las siguientes propiedades:

Propiedades Mecánicas del Acero AISI 1018.

Propiedad	Sistema SI
Resistencia a la tensión	370MPa
Límite de rotura	440MPa
Módulo de elasticidad a 20° C	200GPa
Densidad	7800kg/m ³

Fuente: [Bohman, 2016].

DISEÑO GEOMÉTRICO

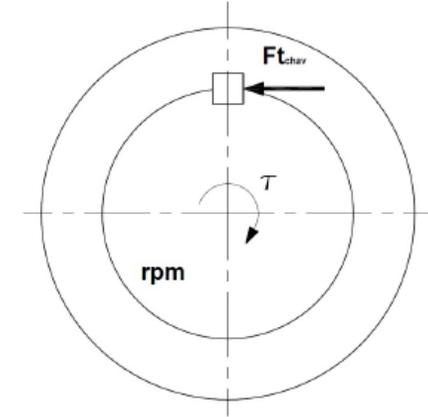
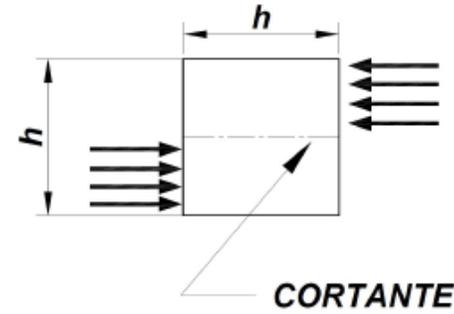
- La chaveta será el elemento de bloqueo entre el anillo y la probeta de bronce. Evita el giro de estos elementos. La longitud de la chaveta debe ser del largo de la probeta de bronce para que este se deslice y se pueda modificar la fuerza de aplastamiento.
- La sección de la chaveta es de 3/8 in, dimensión estándar.
- La longitud es la necesaria para que la probeta de bronce se deslice.
- En el diseño mecánico se establece el factor de seguridad de la misma.

DISEÑO MECÁNICO: CÁLCULOS-CHAVETA

$$F t_{chav} = \frac{T_{max}}{\frac{d_b}{2}}$$

$$F t_{chav} = \frac{540.26 \text{ [Nm]} \cdot 1000 \text{ [mm]}}{37 \text{ [mm]} \cdot 1 \text{ [m]}}$$

$$F t_{chav} = 14600 \text{ [N]}$$



$$S_{sy_{real}} = 253.8 \text{ [MPa]} * 0.549 = 139.138 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_A = \frac{F t_{chav}}{\frac{h}{2} L}$$

$$\sigma_A = \frac{S_{sy_{real}}}{F S_{chav}} = \frac{F t_{chav}}{\frac{h}{2} L}$$

$$S_{sy} = 0.577(S_y)$$

$$F S_{chav} = \frac{S_{sy_{real}}(h)(L)}{2 F t}$$

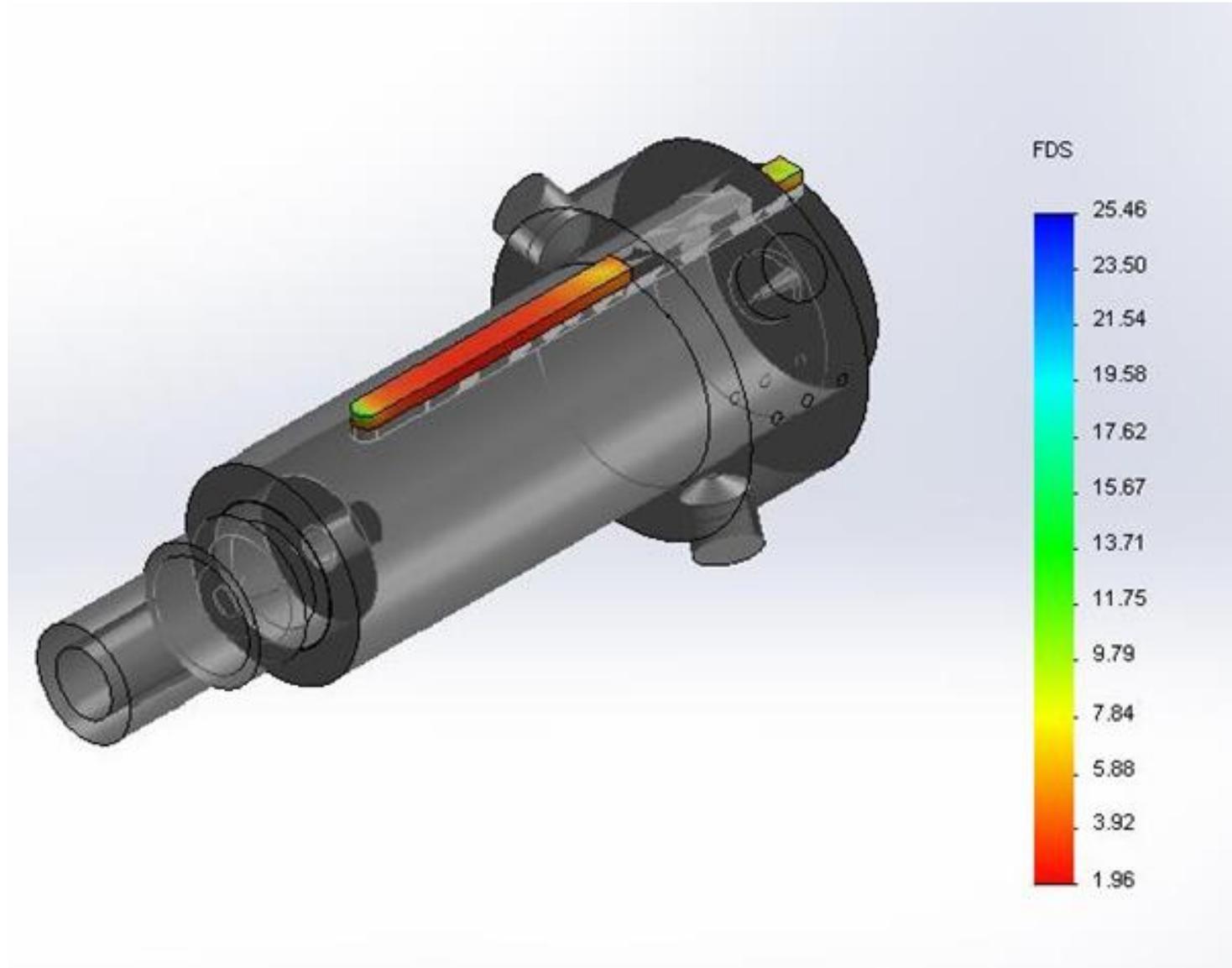
$$S_{sy} = 0.577(440 \text{ [MPa]})$$

$$S_{sy} = 253.8 \text{ [MPa]}$$

$$F S_{chav} = \frac{139.38 \text{ [MPa]}(3/8 \text{ [in]})(50 \text{ [mm]}) \frac{24.5 \text{ [mm]}}{1 \text{ [in]}}}{(2)(14600 \text{ [N]})} = 2.2$$



DISEÑO MECÁNICO: SIMULACIÓN DE LA CHAVETA





DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS PINES DE LA LUNETETA

$$FS_{pin} = \frac{Ssu_{pin}(A_{pin})}{2Ft_{anillo}}$$

$$Ssu_{pin} = 0.9Sut_{bronce}$$

$$Ssu_{pin} = 0.9(274.6 \text{ [MPa]})$$

$$Ssu_{pin} = 247.13 \text{ [MPa]}$$

$$Ft_{anillo} = \frac{T_{max}}{3 \frac{de_{anillo}}{2}}$$

$$Ft_{anillo} = \frac{540.262 \text{ [Nm]}}{3 * \frac{110 \text{ [mm]}}{2} \frac{1 \text{ [m]}}{1000 \text{ [mm]}}}$$

$$Ft_{anillo} = 3274 \text{ [N]}$$

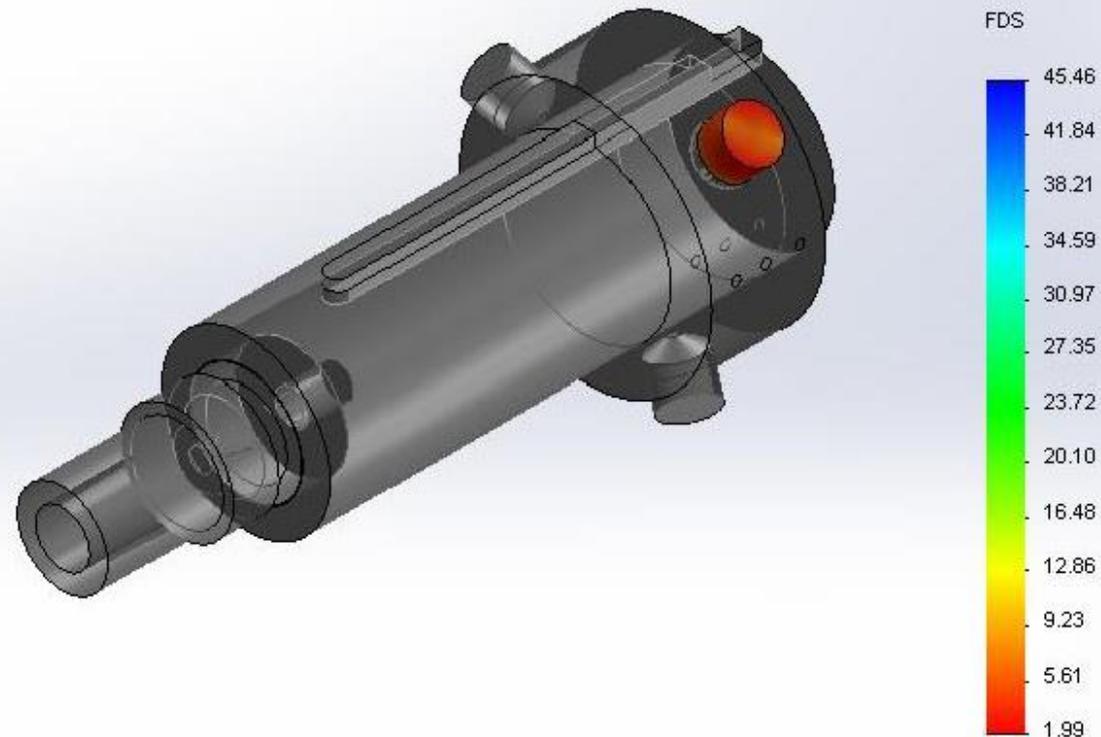
$$A_{pin} = \frac{\pi}{4} d_{pin}^2 = \frac{\pi}{4} (15^2) = 0.1767 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$FS_{pin} = \frac{247.13 \text{ [MPa]}(0.1767 \text{ [m}^2\text{]})}{2(3274 \text{ [N]})} \frac{10^6 \text{ [Pa]} \frac{1 \text{ [N/m}^2\text{]}}{1 \text{ [MPa]}}}{1 \text{ [Pa]}} = 6.67$$

DISEÑO MECÁNICO: SIMULACIÓN DE LOS PINES DE LA LUNETETA

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad6	Automático	1.98888 Nodo: 6999	45.4583 Nodo: 7225

Nombre de modelo: DISEÑO DEL ENSAMBLE EXPERIMENTO
Nombre de estudio: Copia de [Estudio 2]
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad6
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2



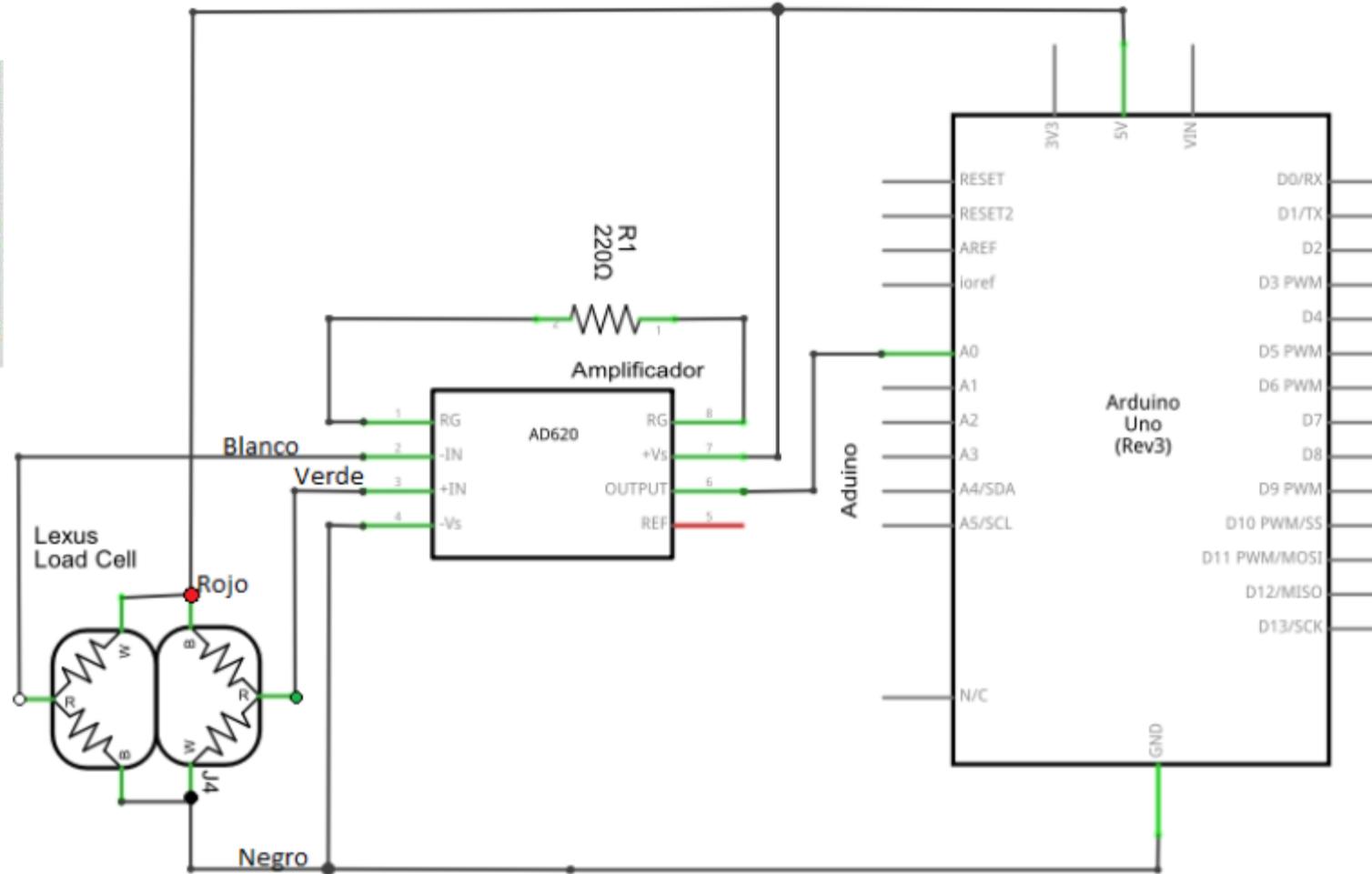
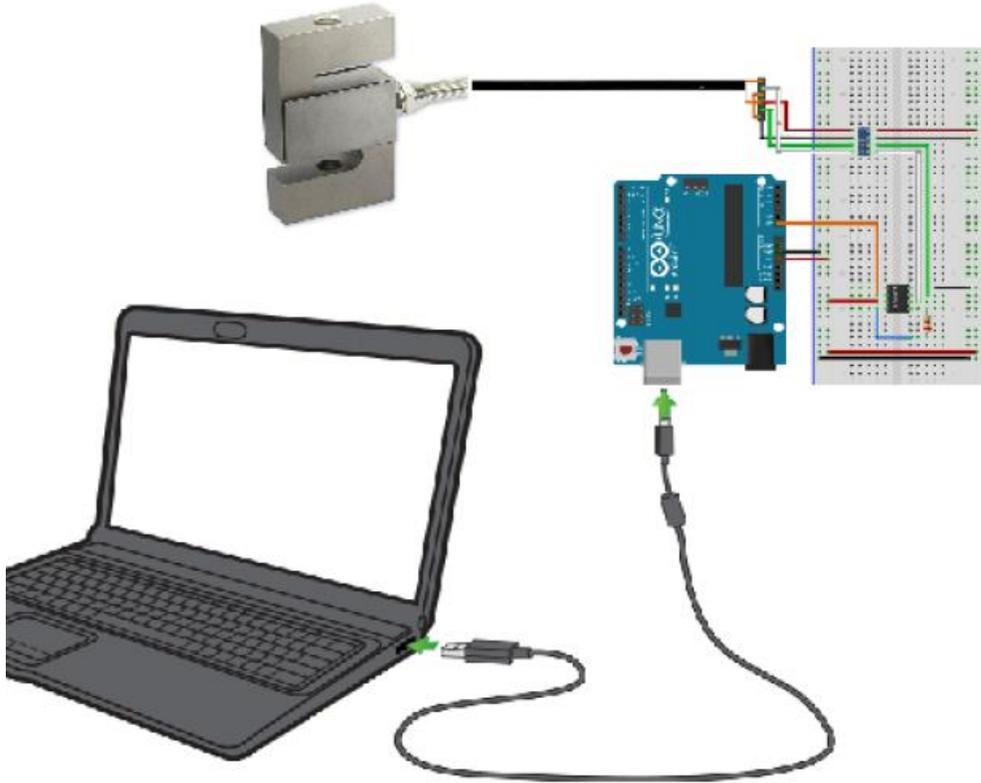
SELECCIÓN DE LA CELDA DE CARGA

- El ambiente de operación.
- La capacidad máxima es de 5000 N.
- El tipo de celda de carga es en forma de S ya que esta funciona con 4 galgas extensiométricas proporcionando estabilidad en las mediciones.
- La sensibilidad es de 0:02 [mV/V] con una salida de 5 a 12 DC o AC. Por lo que la celda necesita un amplificador de señal.



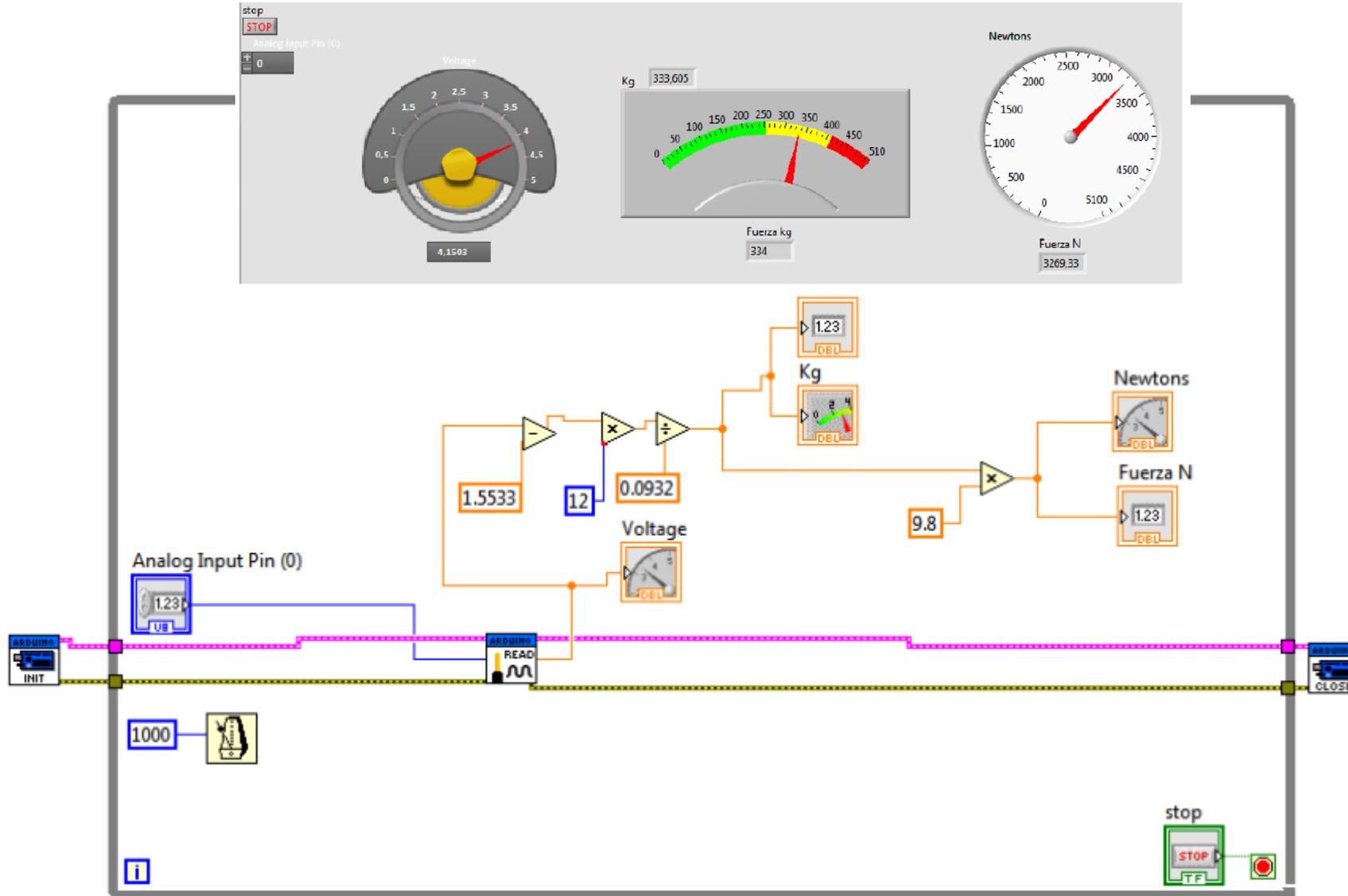


INSTRUMENTACIÓN DE LA CELDA DE CARGA

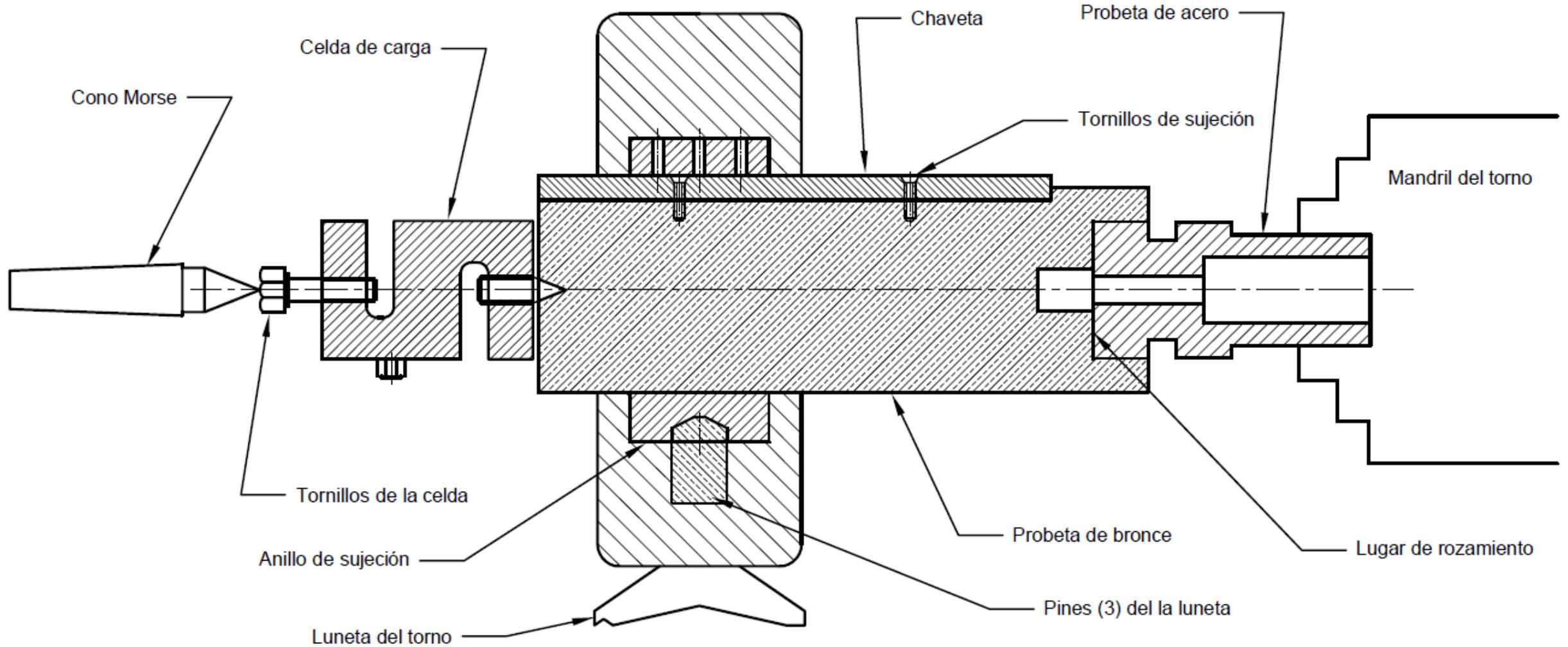




PROGRAMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS



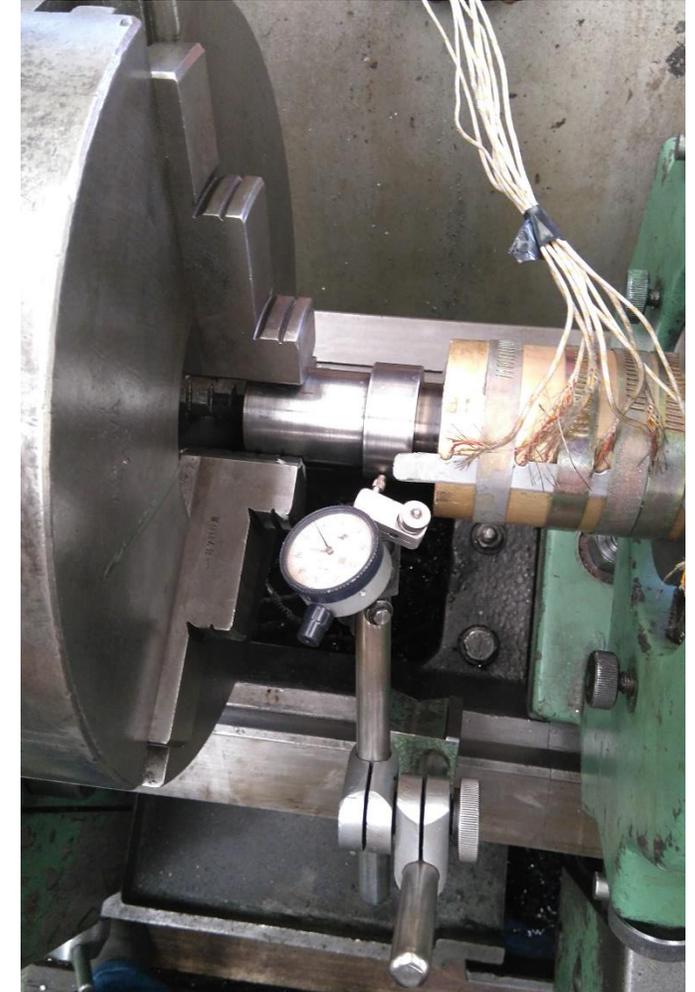
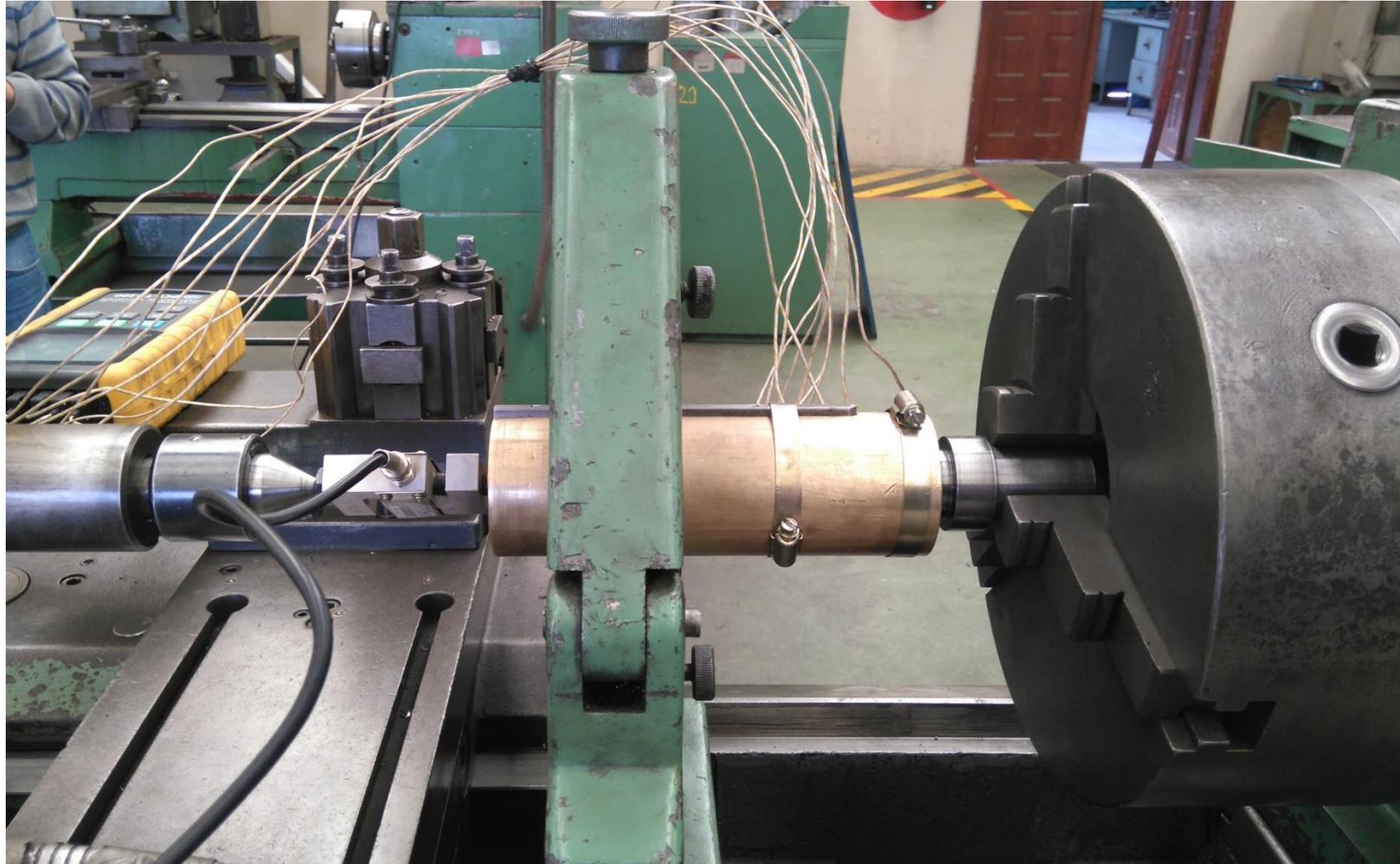
FORMA DE MONTAJE





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FORMA DE MONTAJE





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

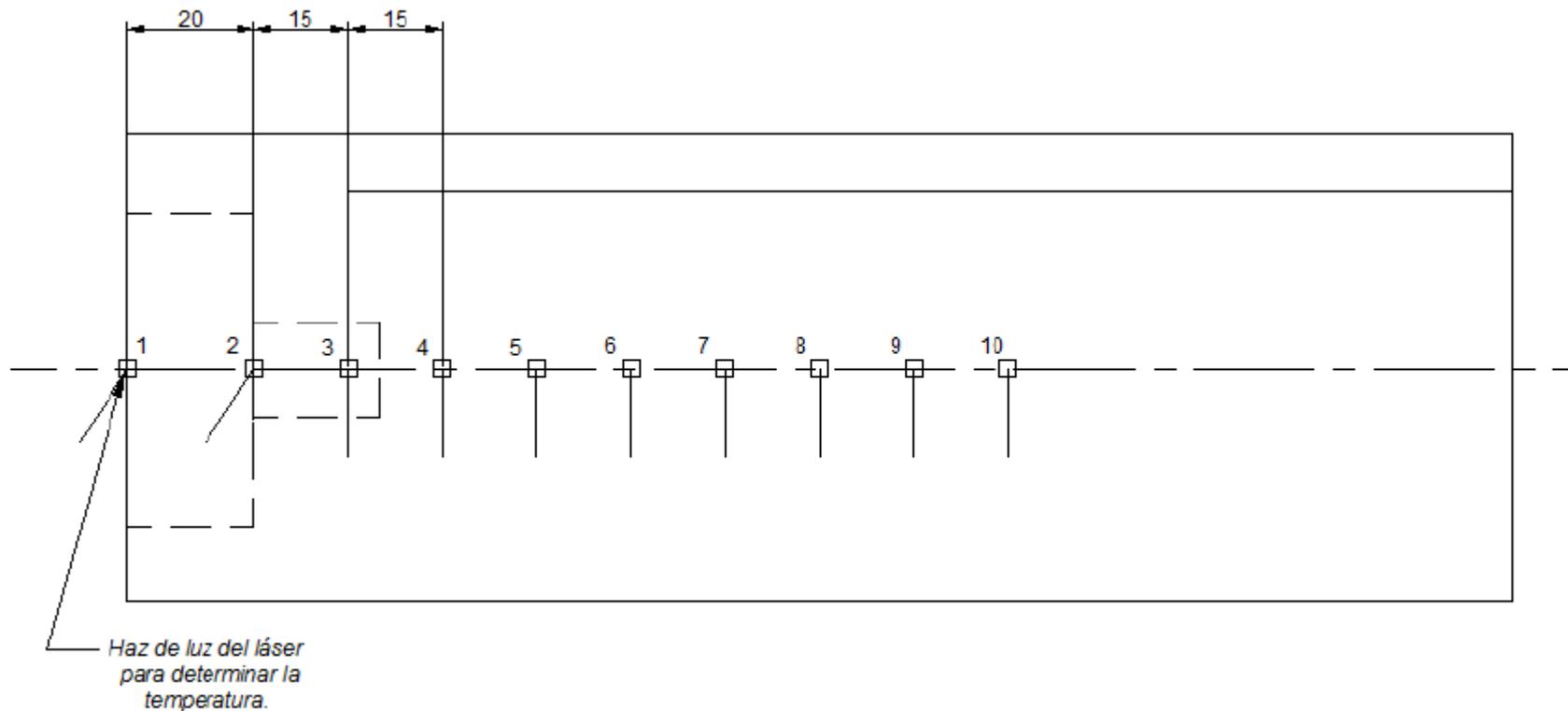
CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE FRICCIÓN



ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE FRICCIÓN

PARÁMETROS GENERALES TÉRMICOS DEL EXPERIMENTO





PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Propiedades Térmicas del Acero DF2.

Propiedad	Sistema SI	Temperatura
CET Lineal	$11.7\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$	$20^\circ\text{C} - 200^\circ\text{C}$
CET Lineal	$11.4\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$	400°C
Calor Específico	$460\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$	–
Conductividad Térmica	$32\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$	20°C
Punto de Fusión	1538°C	–
Densidad	$7800\text{kg}/\text{m}^3$	20°C
Densidad	$7700\text{kg}/\text{m}^3$	400°C

Fuente: [Uddeholm, 2002].

Propiedades Térmicas del Bronce Dulce UNS C38500.

Propiedad	Sistema SI	Temperatura
CET Lineal	$20.9\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$	$20^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C}$
Calor Específico	$380\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$	–
Conductividad Térmica	$123\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$	20°C
Punto de Fusión	$875^\circ\text{C} - 890^\circ\text{C}$	–
Densidad	$8470\text{kg}/\text{m}^3$	25°C

Fuente: [Davis et al., 2001].

CALOR GENERADO POR FRICCIÓN



$$P^o = \frac{F_a}{A_c}$$

$$P^o = \frac{200.63\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2}{\pi (R_o^2 - R_i^2)}$$

$$P^o = \frac{1966\text{N}}{1.71 \times 10^{-3}\text{m}^2}$$

$$P^o = 1,15 \times 10^6 \text{Pa},$$

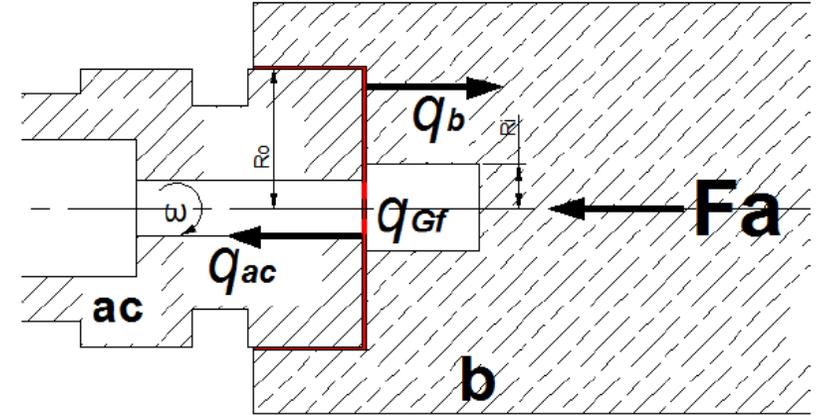
$$q_{Gf} = \frac{2}{3} \omega P^o \pi [R_o^3 - R_i^3]$$

$$q_{Gf} = \frac{2}{3} (231 \text{rpm}) (1.15 \times 10^6 \text{Pa}) \pi [(24.5 \text{mm})^3 - (7.5 \text{mm})^3]$$

$$q_{Gf} = 832.59 \text{W},$$

$$A_b = \frac{\pi (D_b)^2}{4} = 4.30 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{ob} = \pi D_b L_b = 0.04 \text{m}^2,$$



CALOR GENERADO POR FRICCIÓN



$$h_{c,b-a} = 2,8 + 3v_{aire}$$

$$h_{c,b-a} = 4.51 \frac{W}{m^2K}$$

COEFICIENTE DE CONVENCION
FORZADA FLUJO EXTERNO

$$T_{m,b-a} = \frac{T_{sb} + T_a}{2} = 377 K,$$

$$h_{r,b-a} = 4\varepsilon_b \sigma T_{m,b-a}^3$$

$$h_{r,b-a} = 6.684 \frac{W}{m^2K}$$

COEFICIENTE DE RADIACION

BALANCE ENERGÉTICO PARA EL BRONCE



$T_b = 452 \text{ K}$ es la temperatura más elevada en el bronce.

$T_a = 302 \text{ K}$ es la temperatura ambiente.

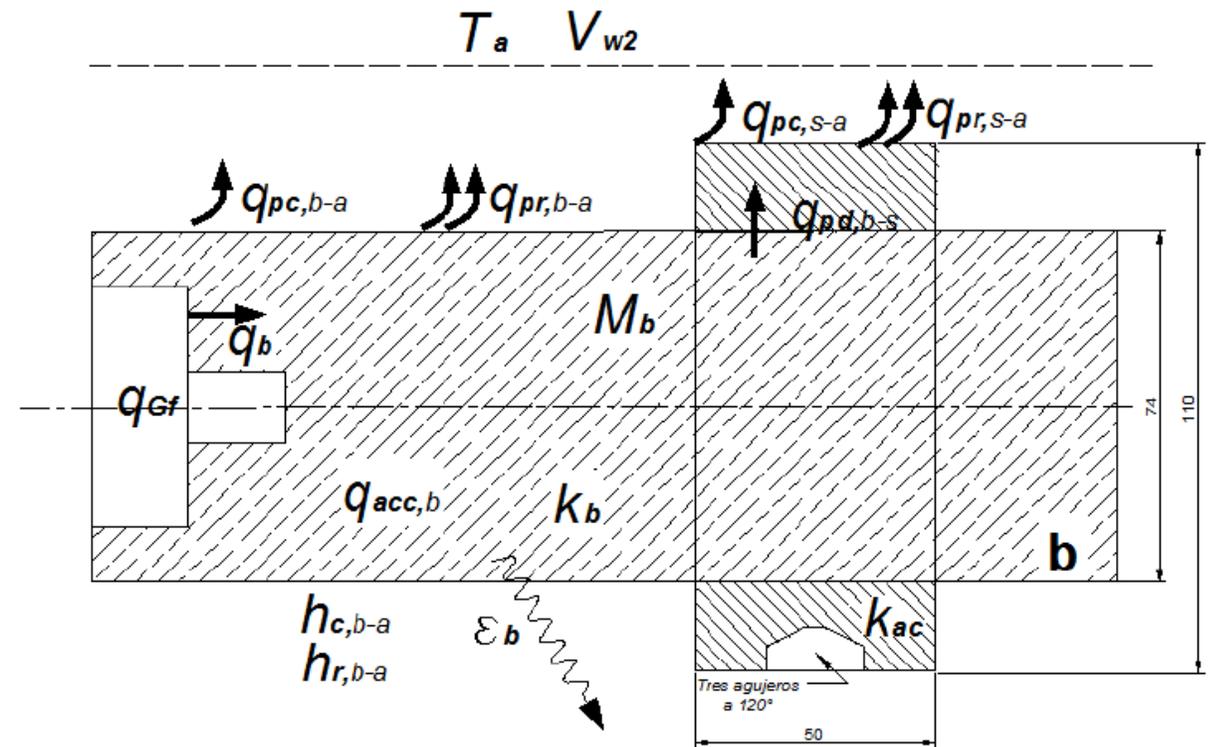
$M_b = 7.6774 \text{ kg}$ es la masa inicial del bronce.

$c_{pb} = 380 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ es la capacidad calorífica del bronce en el ambiente

$t_{calent} = 10 \text{ min}$ es el intervalo de tiempo.

$T_{b1} = 302.4 \text{ K}$ temperatura inicial.

$T_{b2} = 330.8 \text{ K}$ temperatura final después de t_{calent} .



BALANCE ENERGÉTICO PARA EL BRONCE



$$q_{pc,b-a} = h_{c,b-a} A_{ob} (T_b - T_a) = 26.74 \text{ W},$$

Calor perdido por convección

$$q_{pr,b-a} = h_{r,b-a} A_{ob} (T_b - T_a) = 39.62 \text{ W}$$

Calor perdido por radiación

$$q_{acc,b} = \frac{M_b}{t_{calent}} c p_b (T_{b2} - T_{b1}) = 138.09 \text{ W}$$

Calor acumulado en el bronce

$$q_{pd,b-s} = q_{pcd,b-s} + q_{pc,s-a} + q_{pr,s-a}$$

$$q_{pcd,b-s} = -2\pi \cdot L_{anillo} \cdot k_{ac} \cdot \frac{(T_{pf} - T_{pi})}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$q_{cd,b-s} = -2\pi \cdot 0.05\text{m} \cdot 51.9\text{W/mK} \cdot \frac{(433.1\text{K} - 441.6\text{K})}{\ln\left(\frac{0.055\text{m}}{0.037\text{m}}\right)}$$

Calor perdido por conducción

$$q_{pcd,b-s} = 349.61 \text{ W}$$

BALANCE ENERGÉTICO PARA EL BRONCE



$$A_{s,an} = 2 \left\{ \frac{\pi}{4} \left[(0.110\text{m})^2 - (0.074\text{m})^2 \right] \right\} + 2\pi r_2 L_{anillo} = 0.028\text{m}^2$$

$$h_{c,b-a} = 4.51 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$q_{p_{c,s-a}} = h_{c,b-a} \cdot A_{s_{an}} \cdot (T_{pf} - T_a)$$

Calor perdido por convección

$$q_{p_{c,s-a}} = 4.51 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 0.028\text{m}^2 \cdot (433.1\text{K} - 302\text{K})$$

$$q_{p_{c,s-a}} = 16.37\text{W}$$

$$T_{ms} = \frac{T_{pf} + T_a}{2} = 367.55\text{K}$$

$$h_{r,b-s} = 4 \cdot \epsilon_{anillo} \cdot \sigma \cdot T_{ms}^3 = 10.14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Calor perdido por radiación.

$$q_{p_{r,s-a}} = h_{r,b-s} \cdot A_{s_{an}} \cdot (T_{pf} - T_a)$$

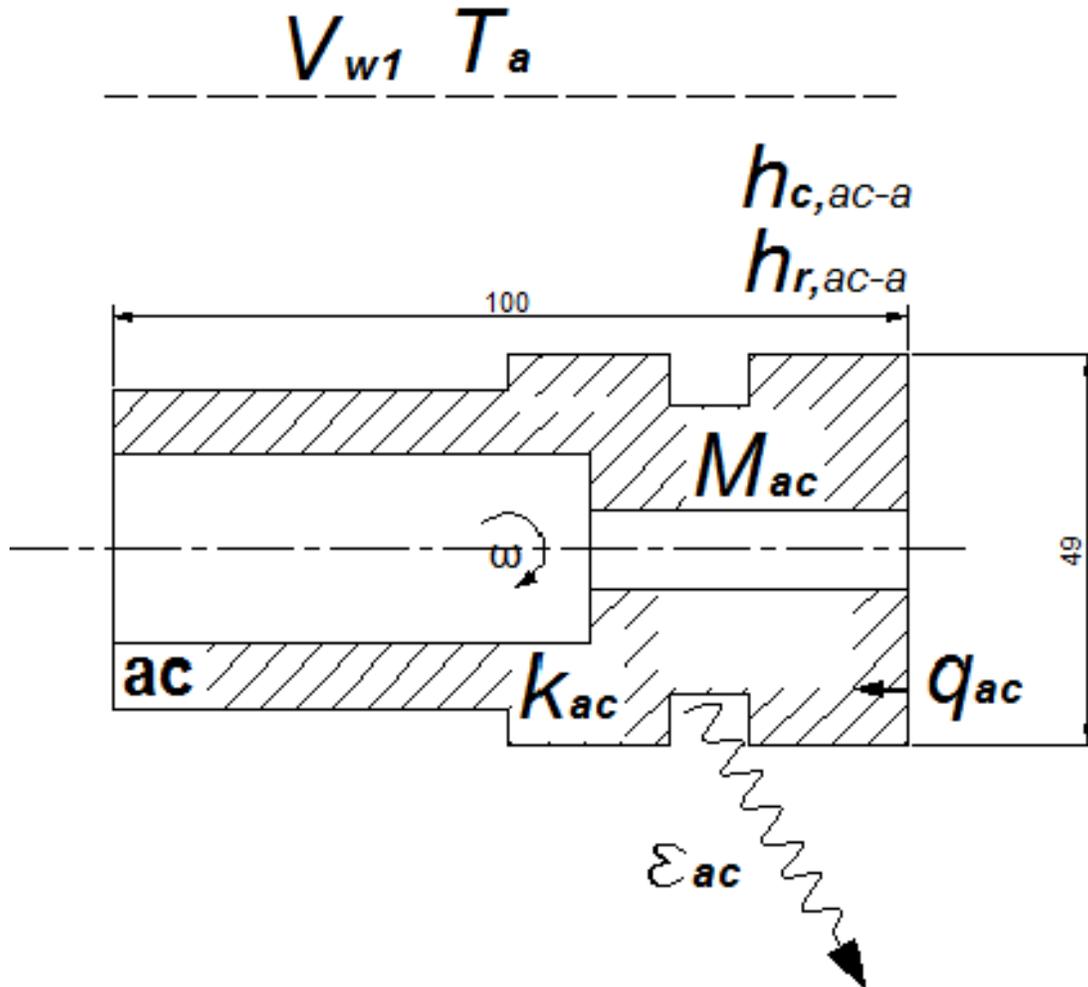
$$q_{p_{d,b-s}} = q_{p_{cd,b-s}} + q_{p_{c,s-a}} + q_{p_{r,s-a}} = 402.76\text{W}$$

$$q_{p_{r,s-a}} = 10.14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 0.028\text{m}^2 \cdot (433.1\text{K} - 302\text{K})$$

$$q_b = q_{p_{c,b-a}} + q_{p_{r,b-a}} + q_{acc,b} + q_{p_{d,b-s}} = 607.21\text{W}$$

$$q_{p_{r,s-a}} = 36.78\text{W}$$

CALOR TRANSFERIDO AL ACERO



ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA EJES ROTATORIOS

$$A_{ac} = \frac{\pi(d_{ac})^2}{4} = 1.886 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{oac} = \pi d_{ac} L_{ac} = 0.015 \text{ m}^2$$

$$\frac{h_{c,ac-a} D_o}{k} = 0,11 (0,5 Re_{\omega}^2 + Gr_D Pr)^{0,35}$$

$$Gr_D = \frac{\rho^2 \beta g (T_s - T_a) D^3}{\mu^2}$$

$$Re_{\omega} = \frac{\rho \pi D^2 \omega}{\mu}$$

$$T_f = \frac{T_a + T_{sac}}{2} = 376.35 \text{ K}$$

$$T_a = 302 \text{ K}$$

$$T_{sac} = 450.7 \text{ K}$$

$$\omega = 231 \text{ rpm} = 24.19 \frac{1}{s}$$

$$g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

CALOR TRANSFERIDO AL ACERO

COEFICIENTE DE RADIACIÓN

$$\rho_{aire} = 0.9458 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu_{aire} = 2.181 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$$

$$k_{aire} = 0.03095 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

$$Pr = 0.7111$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 2.657 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$$

$$Re_{\omega} = \frac{\rho_{aire} \cdot \pi \cdot d_{ac}^2 \omega}{\mu_{aire}} = 7912.73$$

$$\epsilon_{ac} = 0.9$$

$$T_a = 302 \text{ K}$$

$$T_{sac} = 450.7 \text{ K} \quad T_{m,ac-a} = \frac{T_{sac} + T_a}{2} = 376.35 \text{ K}$$

$$h_{r,ac-a} = 4\epsilon_{ac}\sigma T_{m,ac-a}^3$$

$$h_{r,ac-a} = 10.88 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$Gr_D = \frac{\rho_{aire}^2 \cdot \beta \cdot g \cdot (T_{oac} - T_a) d_{ac}^3}{\mu_{aire}^2} = 857262.31$$

$$h_{c,ac-a} = \left[0,11 (0,5Re_{\omega}^2 + Gr_D Pr)^{0,35} \right] \frac{k_{aire}}{d_{ac}}$$

$$h_{c,ac-a} = 29.39 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

BALANCE ENERGÉTICO PARA EL ACERO

$T_{ac} = 452 \text{ K}$ es la temperatura del acero.

$T_a = 302 \text{ K}$ es la temperatura ambiente.

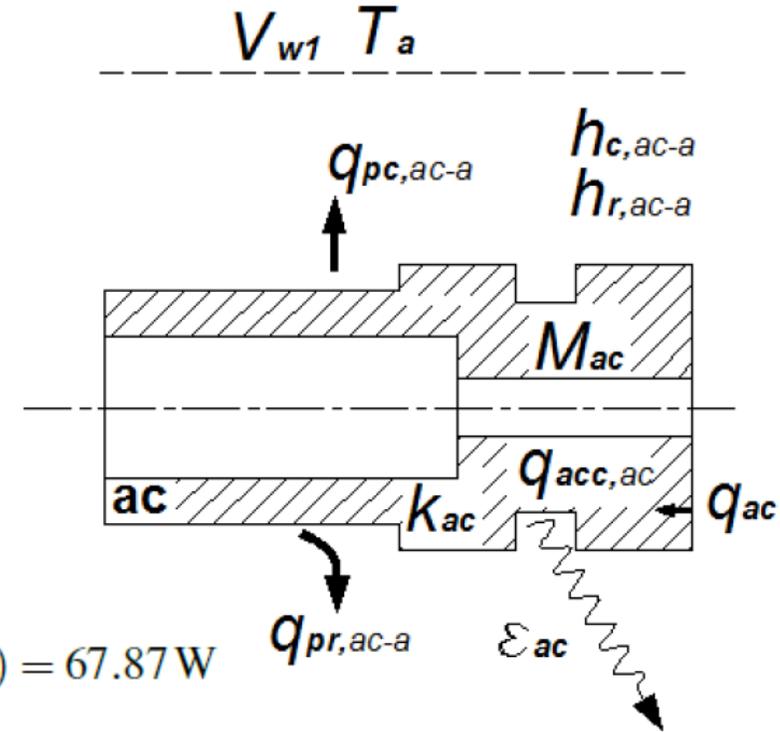
$m_{ac} = 2.9271 \text{ kg}$ es la masa inicial del acero.

$c_{pac} = 460 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ es el calor específico del acero DF2.

$t_{calent} = 10 \text{ min}$ es el intervalo de tiempo.

$T_{ac1} = 330.8 \text{ K}$ temperatura inicial.

$T_{ac2} = 301.4 \text{ K}$ temperatura final después de t_{calent} .



Calor perdido por convención $q_{pc,ac-a} = h_{c,ac-a} A_{oac} (T_{ac} - T_a) = 67.87 \text{ W}$

Calor perdido por radiación $q_{pr,ac-a} = h_{r,ac-a} A_{oac} (T_{ac} - T_a) = 25.125 \text{ W}$

Calor acumulado en el acero $q_{acc,ac} = \frac{m_{ac}}{t_{calent}} c_{pac} (T_{2ac} - T_{1ac}) = 65.98 \text{ W}$

$$q_{ac} = q_{pc,ac-a} + q_{pr,ac-a} + q_{acc,ac} = 158.97 \text{ W}$$

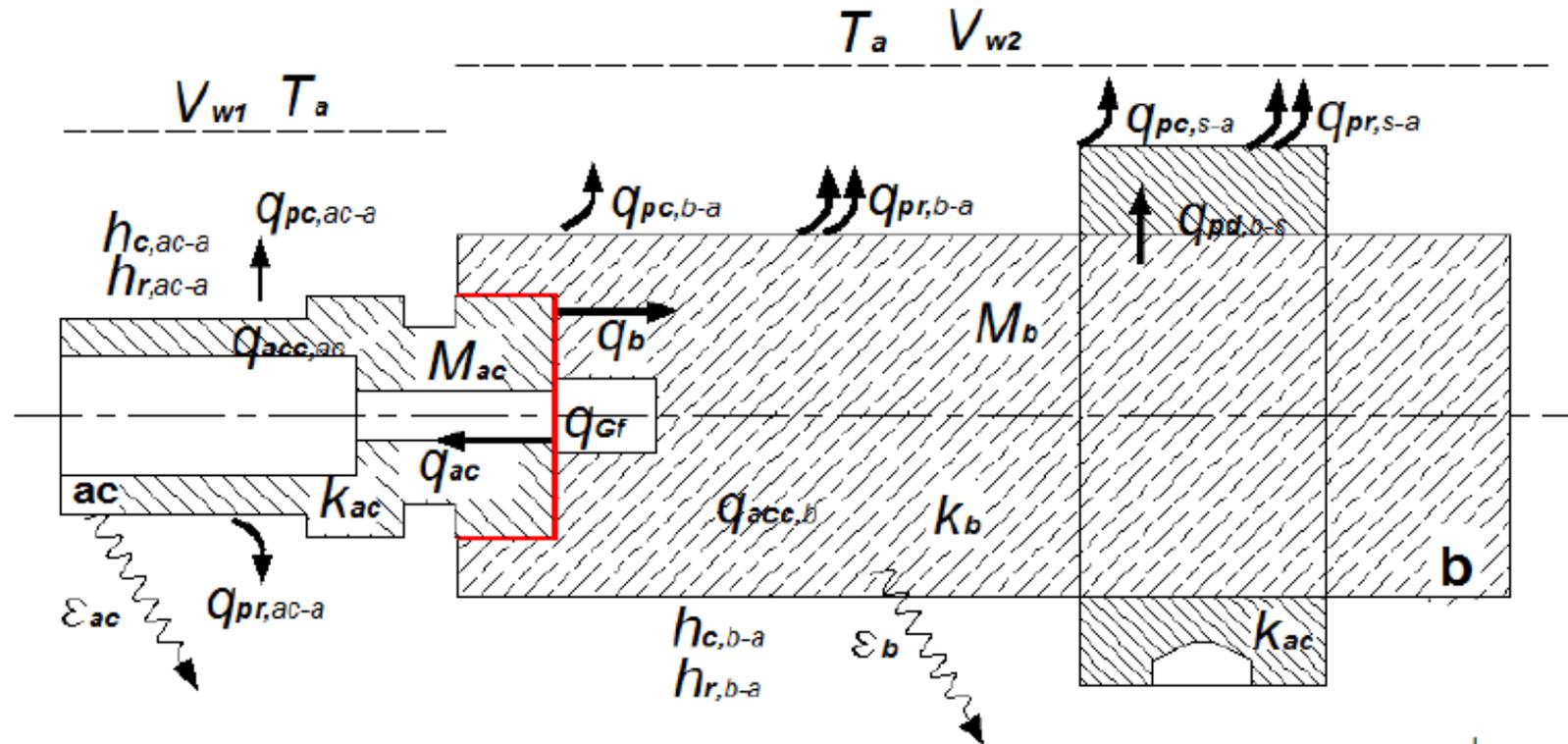
CALOR TOTAL PERDIDO EN EL ACERO

CALOR TOTAL PERDIDO EN EL SISTEMA

$$q_{tp} = q_b + q_{ac}$$

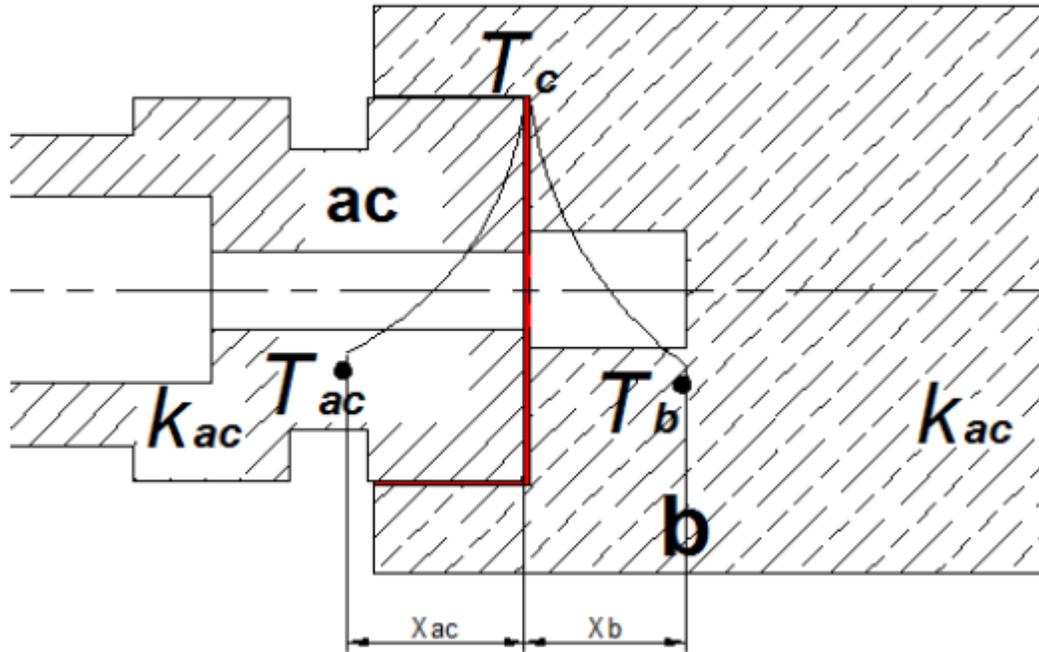
$$q_{tp} = 766.19\text{W}$$

$$q_{Gf} = 832.59\text{W}$$



$$Error_{abs} = \left| \frac{q_{Gf} - q_{tp}}{q_{Gf}} \right| \cdot 100 = 8\%$$

TEMPERATURA DE CONTACTO



$$T_{ac} = 179.2 \text{ } ^\circ\text{C a } x_{ac} = 0.02\text{m}$$

$$T_b = 175.8 \text{ } ^\circ\text{C a } x_b = 0.015\text{m}$$

$$k_{ac} = 32 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

$$k_b = 123 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

$$R_o = 25 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{x_{ac}x_b \left[\frac{2}{3} \omega F_a \frac{[R_o^3 - R_i^3]}{\pi(R_o^2 - R_i^2)^2} \right] + k_{ac}T_{ac}x_b + k_bT_bx_{ac}}{k_{ac}x_b + k_bx_{ac}}$$

$$R_i = 7.5 \text{ mm}$$

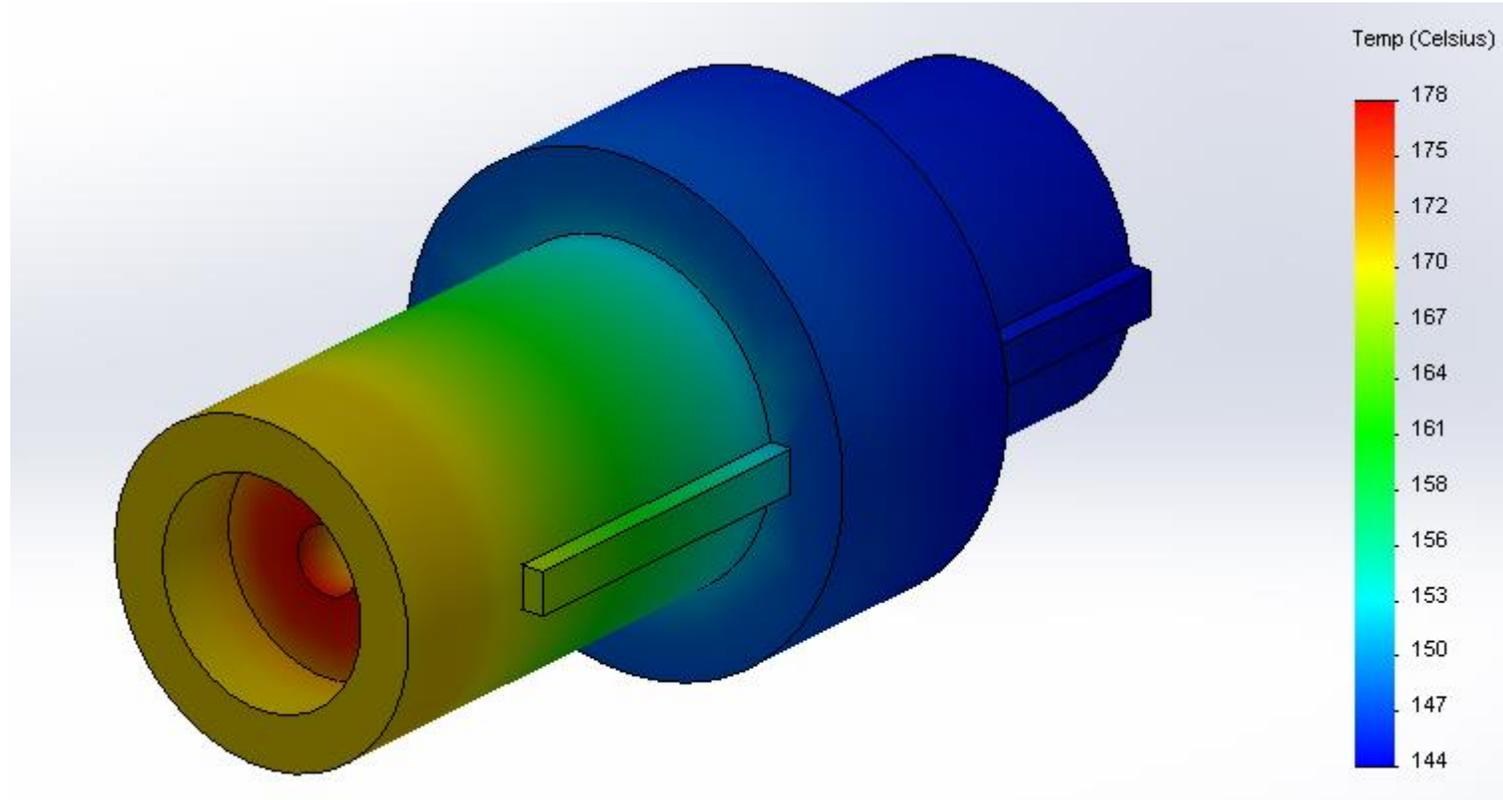
$$F_a = 220\text{kg} \cdot 9.8\text{m/s}^2 = 2156 \text{ N}$$

$$\omega = 235 \text{ rpm}$$

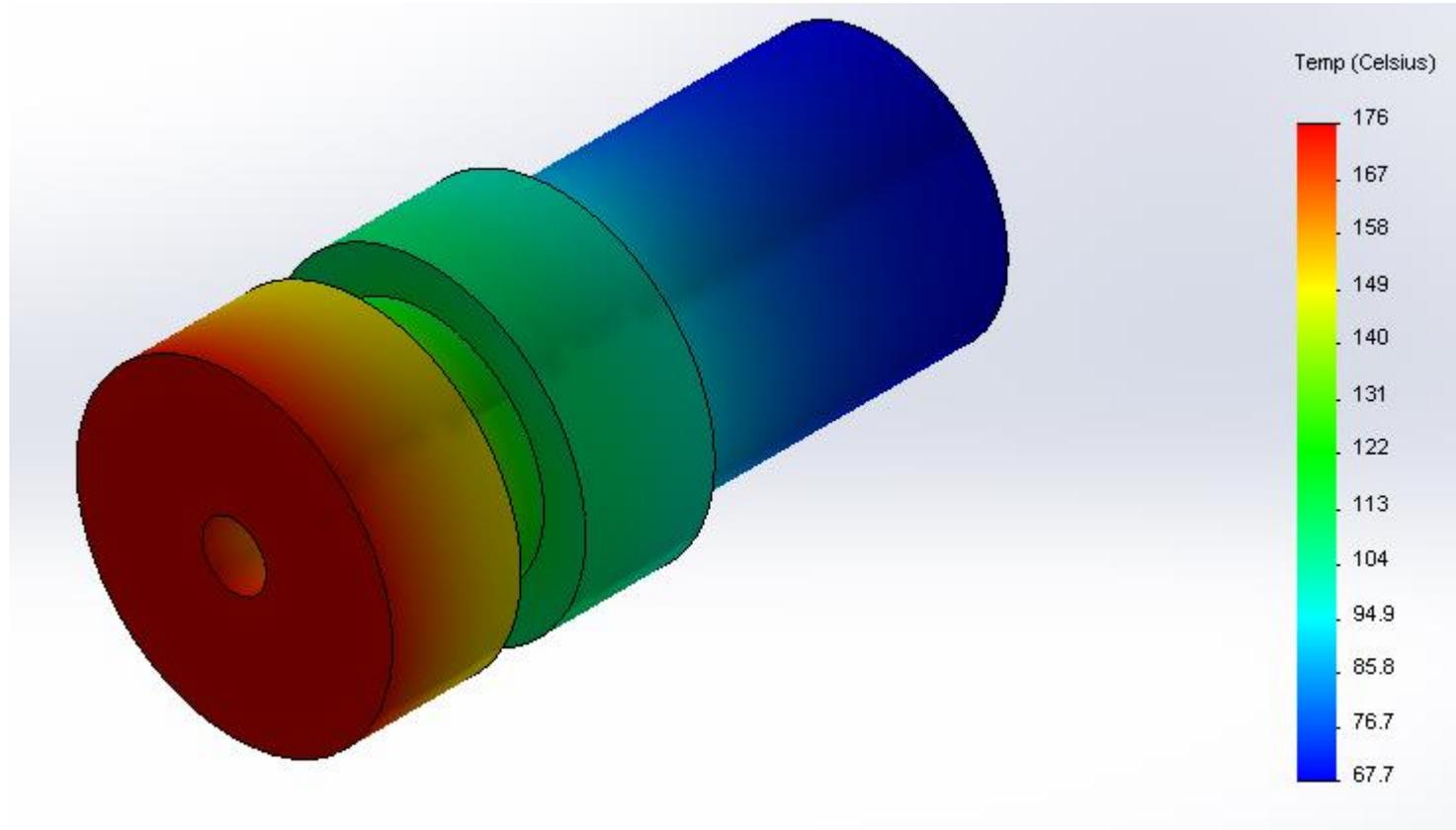
$$T_c = \frac{x_{ac}x_b \left[\frac{2}{3} \omega F_a \frac{[R_o^3 - R_i^3]}{\pi(R_o^2 - R_i^2)^2} \right] + k_{ac}T_{ac}x_b + k_bT_bx_{ac}}{k_{ac}x_b + k_bx_{ac}}$$

$$T_c = 231.50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

SIMULACIÓN TÉRMICA BRONCE-ANILLO



SIMULACIÓN TÉRMICA PROBETA DE ACERO





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS



COMBINACIÓN DE PARÁMETROS

Arreglo Ortogonal L9.

	A	B
Experimento: 1	1	1
Experimento: 2	1	2
Experimento: 3	1	3
Experimento: 4	2	1
Experimento: 5	2	2
Experimento: 6	2	3
Experimento: 7	3	1
Experimento: 8	3	2
Experimento: 9	3	3

Arreglo L9 con Datos del Experimento.

	A	B
Experimento: 1	150 kg	500 rpm
Experimento: 2	350 kg	250 rpm
Experimento: 3	150 kg	250 rpm
Experimento: 4	250 kg	250 rpm
Experimento: 5	250 kg	1000 rpm
Experimento: 6	350 kg	1000 rpm
Experimento: 7	350 kg	500 rpm
Experimento: 8	250 kg	500 rpm
Experimento: 9	150 kg	1000 rpm

VALORES OBTENIDOS EXPERIMENTO 1

FUERZA DE APLASTAMIENTO REVOLUCIONES

#	TIEMPO	(Kg)	(N)	REV (rpm)
1	11:08:00	80.24	786.352	139
2	12:08:00	110.31	1081.038	138
3	13:08:00	126.27	1237.446	136
4	14:08:00	130.5	1278.9	135
5	15:08:00	136.48	1337.504	133
Promedio		116.76	1144.248	136.2
Velocidad del viento		0.02m/s		

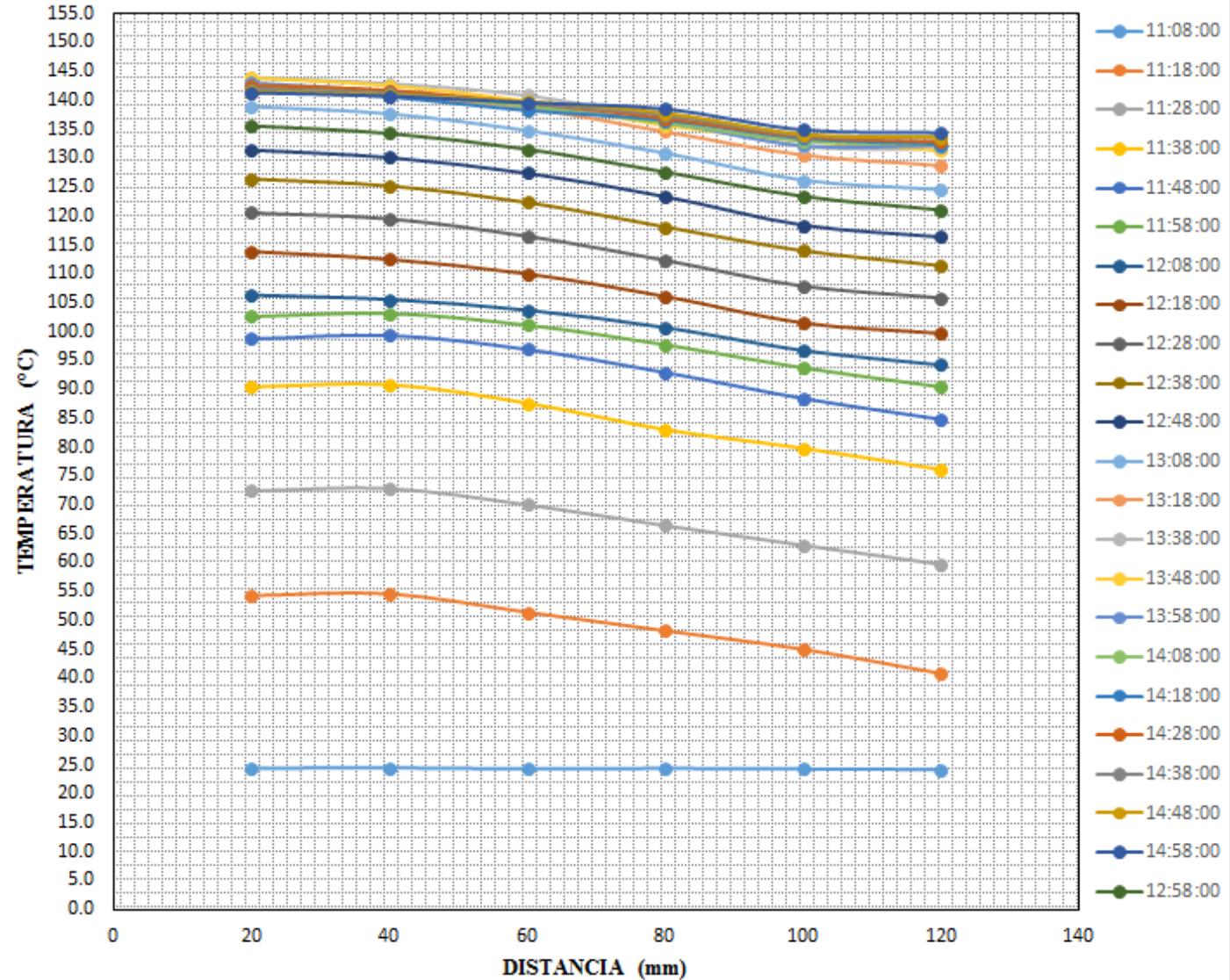
DATOS DE TEMPERATURA DEL BRONCE:

P	Time	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	Ta(°C)
1	11:08:00	24.4	24.5	24.3	24.4	24.3	24.2	22.0
2	11:13:00	39.9	40.1	37.7	35.5	32.0	30.4	22.3
3	11:18:00	54.3	54.6	51.4	48.2	45.0	40.8	21.6
4	11:23:00	64.7	65.1	62.1	58.6	54.0	51.2	21.8
5	11:28:00	72.4	72.8	70.0	66.4	63.0	59.7	21.4
6	11:33:00	78.6	79.0	76.9	73.0	71.3	66.8	21.4
7	11:38:00	90.4	90.8	87.6	83.0	79.8	76.1	21.8
8	11:43:00	95.3	95.7	93.2	89.3	84.8	83.3	21.8
44	14:43:00	142.0	140.8	139.6	137.7	133.9	133.5	21.4
45	14:48:00	141.5	140.9	139.8	137.8	134.1	133.7	21.0
46	14:53:00	141.5	141.0	139.8	138.2	134.9	134.3	21.6
47	14:58:00	141.3	140.7	139.6	138.5	134.9	134.4	21.9
48	15:03:00	140.5	139.2	139.1	138.6	135.2	134.3	21.0

PERFIL DE
TEMPERATURAS DE
LA PROBETA DE
BRONCE EN EL
EXPERIMENTO 1

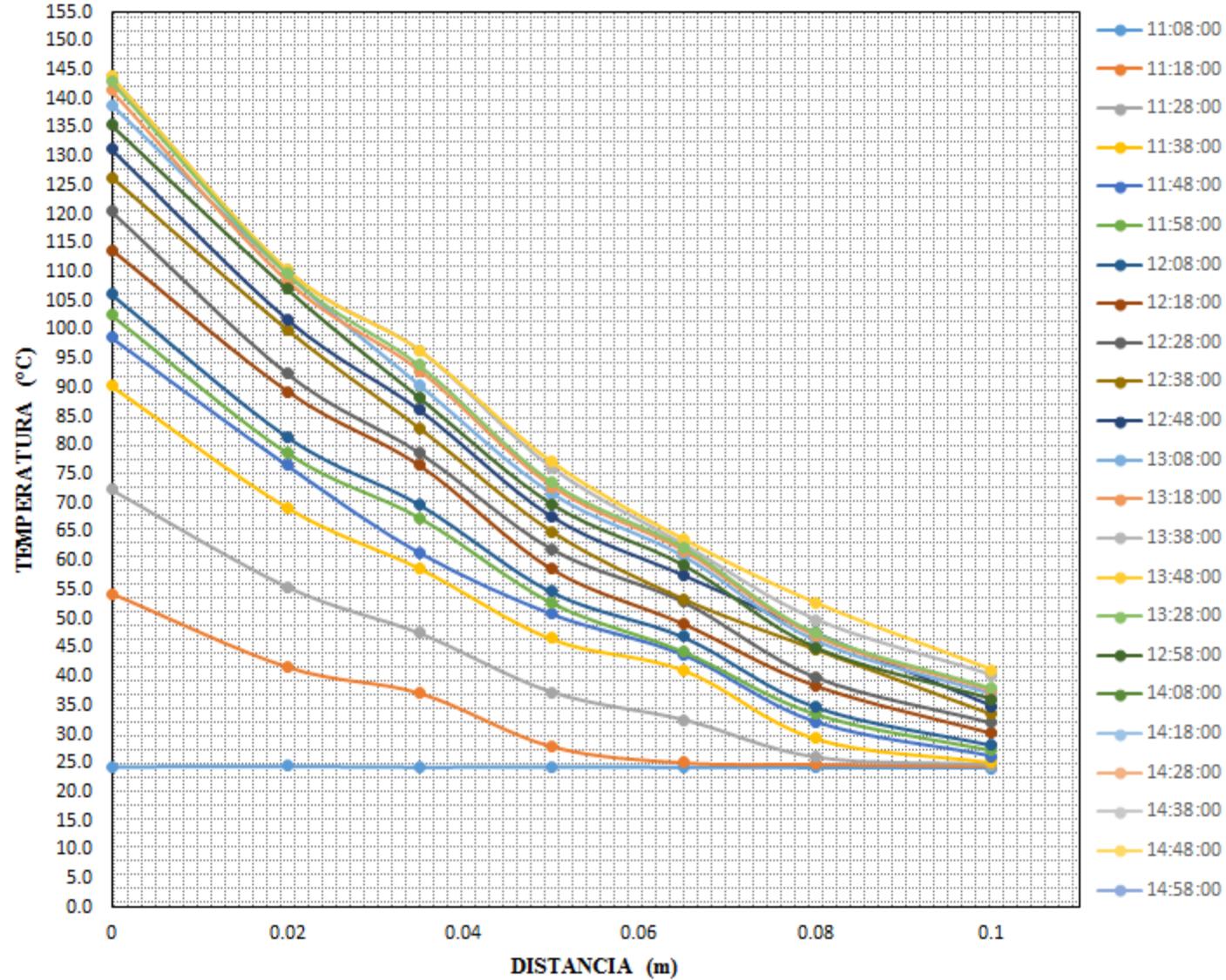
(EXPERIMENTAL)

PERFIL DE TEMPERATURAS ENSAYO 1



PERFIL DE TEMPERATURAS ENSAYO 1

PERFIL DE TEMPERATURAS DE LA PROBETA DE ACERO EN EL EXPERIMENTO 1 (EXPERIMENTAL)



RESULTADOS

CALOR PERDIDO EN EL ANILLO

Trial	T_{pf}	T_{pi}	v_{aire}	$h_{c,b-a}$	T_a	$h_{r,b-s}$	$q_{pcd,b-s}$	$q_{pc,s-a}$	$q_{pr,s-a}$	$q_{pd,b-s}$
#	[K]	[K]	[m/s ²]	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	[K]	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	[W]	[W]	[W]	[W]
1	400.9	402.5	0.02	2.86	294.4	8.58	65.81	8.43	25.29	99.53
2	590.6	598.4	0.54	4.42	297.3	17.90	320.82	35.82	145.01	501.65
3	391.2	396.8	0.59	4.57	302.8	8.52	230.33	11.18	20.87	262.39
4	433.1	441.6	0.57	4.51	302.0	10.135	349.61	16.37	36.78	402.76
5	522.6	535.9	1.57	7.51	295.3	13.96	547.04	47.26	87.85	682.14
6	487.6	504.0	1.6	7.6	299.9	12.46	674.54	39.49	64.75	778.79
7	673.4	684.4	1.49	7.27	302.6	23.72	452.44	74.63	243.51	770.57
8	757	768.2	1.47	7.21	298.4	29.99	460.66	91.53	380.81	933.01
9	485.2	492.1	1.61	7.63	298.3	12.27	283.8	39.48	63.5	386.78

RESULTADOS



PARÁMETROS DE LA PROBETA DE BRONCE

Trial	v_{aire}	$h_{c,b-a}$	T_{sb}	T_a	$T_{m,b-a}$	$h_{r,b-a}$	M_b	T_{b1}	T_{b2}
#	[m/s ²]	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	[K]	[K]	[K]	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	[g]	[K]	[K]
1	0.02	2.86	413.5	294.4	353.95	5.53	7677.9	297.2	313.8
2	0.54	4.42	626.1	297.9	462.3	12.32	7677.8	298.2	339.4
3	0.59	4.57	418.6	302.8	360.7	5.85	7677.5	305.7	323.3
4	0.57	4.51	452.0	302.0	377.0	6.68	7677.4	302.4	330.8
5	1.57	7.51	538.9	295.3	417.1	9.05	7676.1	299.2	349.9
6	1.6	7.6	524	299.9	411.94	8.72	7674.8	298.4	348.6
7	1.49	7.27	850.2	302.6	576.4	23.88	7674.2	298.5	389.3
8	1.47	7.21	704.4	298.2	501.40	15.72	7672.8	298.2	378.1
9	1.61	7.63	517.7	298.3	408.0	8.47	7672.6	298.5	344.2

RESULTADOS



CALOR PERDIDO EN LA PROBETA DE BRONCE

Trial	$q_{pc,b-a}$	$q_{pr,b-a}$	$q_{acc,b}$	$q_{pd,b-s}$	q_b
#	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	13.46	26.04	80.72	99.53	219.75
2	57.33	159.86	200.34	501.65	919.18
3	20.91	26.79	85.58	262.39	395.67
4	26.74	39.62	138.09	402.76	607.2
5	72.3	87.142	246.48	682.14	1088.07
6	67.31	77.22	244.01	778.79	1167.3
7	157.34	516.97	441.32	770.57	1886.20
8	115.69	252.30	388.27	933.01	1689.27
9	66.16	73.46	222.1	386.78	748.47

RESULTADOS



PARÁMETROS DEL LA PROBETA DE ACERO

Trial	T_a	T_{sac}	T_f	ω	β	Re_ω	Gr_D	$h_{c,ac-a}$	$h_{r,ac-a}$
#	[K]	[K]	[K]	rad/s				$\left[\frac{W}{m^2K} \right]$	$\left[\frac{W}{m^2K} \right]$
1	294.4	416.9	355.65	14.55	0.0028	5235.20	903788	21.2	9.18
2	297.9	609.5	453.7	24.69	0.0022	5793.03	766777.13	27.96	19.06
3	302.8	409.8	356.3	26	0.0028	9349.92	787991.14	31.45	9.23
4	302.0	450.7	376.35	24.19	0.0027	7912.73	857558.16	29.39	10.88
5	295.3	538.5	416.9	106.98	0.0024	29394.65	893351.48	79.8	14.79
6	299.9	511.9	405.88	106.97	0.0025	30678.95	871287.02	80.54	13.65
7	302.6	837.7	570.15	53.51	0.0018	8471.71	477158.01	43.86	37.83
8	298.4	700.6	499.5	53.77	0.002	8768.22	434274.54	44.27	25.44
9	298.5	503.0	400.65	107.74	0.0025	30898.19	852457.67	80.93	13.13

RESULTADOS



CALOR PERDIDO EN LA PROBETA DE ACERO

Trial	m_{ac}	T_{ac1}	T_{ac2}	$q_{p_c,ac-a}$	$q_{p_r,ac-a}$	$q_{acc,ac}$	q_{ac}
#	[g]	[K]	[K]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	2927.3	313.8	296.2	39.59	17.15	39.50	96.24
2	2927.2	339.4	297.2	141.71	96.64	94.70	333.05
3	2927.2	323.3	304.7	56.06	16.46	41.74	114.26
4	2927.1	330.8	301.4	67.87	25.12	65.98	158.98
5	2927.0	349.9	298.2	298.26	55.28	116.02	469.56
6	2927.0	348.6	297.4	277.81	47.07	114.90	439.79
7	2926.9	389.3	297.5	369.70	318.91	206.00	894.62
8	2926.8	378.1	297.2	387.46	222.63	181.55	791.64
9	2926.8	344.2	297.5	270.50	43.87	104.80	419.2

RESULTADOS

CALOR GENERADO POR FRICCIÓN

Trial	F_a (N)	ρ^o (MPa)	ω (rpm)	ω (rad/s)	q_{Gf} (W)
1	1338	0.78	139	14.56	340.80
2	3024	1.77	235.8	24.69	1307.27
3	1168.6	0.68	248.25	25.997	531.80
4	1966	1.15	231	24.19	833.59
5	2315.8	1.36	1021.6	106.98	4336.85
6	2699.8	1.58	1021.5	106.97	5055.59
7	3249	1.90	511	53.51	3043.17
8	2920	1.71	513	53.77	2749.03
9	1368	0.8	10288.8	107.74	2579.96

RESULTADOS DE CADA EXPERIMENTO



Resultados Experimento 1.

TABLA DE RESULTADOS

Calor Generado por Fricción	340.80W
Calor Perdido en el Bronce	219.75W
Calor Perdido en el Acero	96.23W
Calor Total Perdido	315.98W
Error	7.3%
Masa de Bronce Inicial	7677.9 g
Masa de Bronce Final	7677.8 g
Pérdida de Masa	0.1 g
Temperatura de Contacto	157.68°C

Resultados Experimento 2.

TABLA DE RESULTADOS

Calor Generado por Fricción	1307.27W
Calor Perdido en el Bronce	919.18W
Calor Perdido en el Acero	333.05W
Calor Total Perdido	1184.20W
Error	4.2%
Masa de Bronce Inicial	7677.8 g
Masa de Bronce Final	7677.5 g
Pérdida de Masa	0.3 g
Temperatura de Contacto	426.44°C

Resultados Experimento 3.

TABLA DE RESULTADOS

Calor Generado por Fricción	531.80W
Calor Perdido en el Bronce	395.67W
Calor Perdido en el Acero	114.26W
Calor Total Perdido	509.93W
Error	4.11%
Masa de Bronce Inicial	7677.5 g
Masa de Bronce Final	7677.4 g
Pérdida de Masa	0.1 g
Temperatura de Contacto	175.10°C

RESULTADOS DE CADA EXPERIMENTO



Resultados Experimento 4.

TABLA DE RESULTADOS	
Calor Generado por Fricción	832.59W
Calor Perdido en el Bronce	607.21W
Calor Perdido en el Acero	158.98W
Calor Total Perdido	766.19W
Error	7.97%
Masa de Bronce Inicial	7677.4 g
Masa de Bronce Final	7676.1 g
Pérdida de Masa	1.3 g
Temperatura de Contacto	228.96°C

Resultados Experimento 5.

TABLA DE RESULTADOS	
Calor Generado por Fricción	4336.85W
Calor Perdido en el Bronce	1088.07W
Calor Perdido en el Acero	469.56W
Calor Total Perdido	1557.63W
Error	64%
Masa de Bronce Inicial	7676.1 g
Masa de Bronce Final	7674.8 g
Pérdida de Masa	1.3 g
Temperatura de Contacto	356.66°C

Resultados Experimento 6.

TABLA DE RESULTADOS	
Calor Generado por Fricción	5055.6W
Calor Perdido en el Bronce	1167.3W
Calor Perdido en el Acero	439.79W
Calor Total Perdido	1607.12W
Error	77%
Masa de Bronce Inicial	7674.8 g
Masa de Bronce Final	7674.2 g
Pérdida de Masa	0.6 g
Temperatura de Contacto	324.13°C

RESULTADOS DE CADA EXPERIMENTO



Resultados Experimento 7.

TABLA DE RESULTADOS	
Calor Generado por Fricción	3043.17W
Calor Perdido en el Bronce	1886.20W
Calor Perdido en el Acero	894.62W
Calor Total Perdido	2780.8W
Error	8.6%
Masa de Bronce Inicial	7674.2 g
Masa de Bronce Final	7673.9 g
Pérdida de Masa	0.3 g
Temperatura de Contacto	752.20°C

Resultados Experimento 8.

TABLA DE RESULTADOS	
Calor Generado por Fricción	2749.03W
Calor Perdido en el Bronce	1689.27W
Calor Perdido en el Acero	791.64W
Calor Total Perdido	2480.9W
Error	9.8%
Masa de Bronce Inicial	7672.8 g
Masa de Bronce Final	7672.6 g
Pérdida de Masa	0.2 g
Temperatura de Contacto	747.17

Resultados Experimento 9.

TABLA DE RESULTADOS	
Calor Generado por Fricción	2579.69W
Calor Perdido en el Bronce	748.47W
Calor Perdido en el Acero	419.17W
Calor Total Perdido	1167.6W
Error	54.8%
Masa de Bronce Inicial	7672.6 g
Masa de Bronce Final	7672.2 g
Pérdida de Masa	0.4 g
Temperatura de Contacto	387°C

DATOS QUE SERÁN ANALIZADOS CON TABLA ANOVA



VARIABLES Y RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS

N°	PARÁMETROS DEL EXPERIMENTO		MASA PERDIDA	CALOR GENERADO	RESULTADO
	Fuerza de aplastamiento (kg)	Velocidad de rotación (rpm)	(g)	(W)	Tasa de masa perdida por unidad de calor generado (W/g)
1	150	100	0,1	219.8	2198
2	350	250	0,3	919.2	3064
3	150	250	0,1	395.7	3957
4	250	250	1,3	607.2	467
5	250	1000	1,3	1088.1	837
6	350	1000	0,6	1167.3	1946
7	350	500	0,3	1886.2	6287
8	250	500	0,2	1689.3	8446
9	150	1000	0,4	748.5	1871

ANÁLISIS DE VARIANZA: TABLA ANOVA

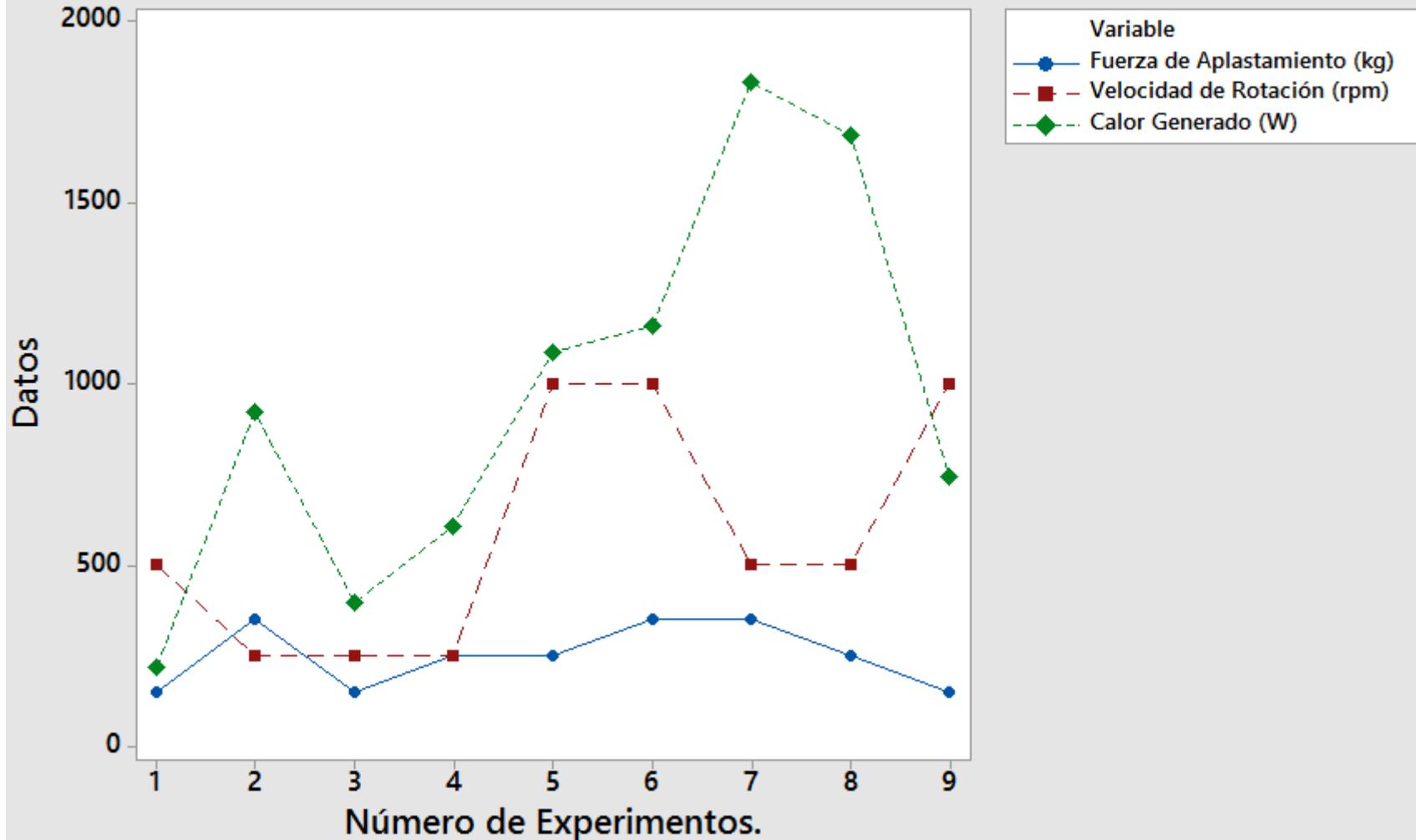
- Para la velocidad de rotación:
 - H0: La velocidad de rotación no afecta a la generación de calor.
- Para la fuerza de aplastamiento:
 - H1: La fuerza si afecta a la generación de calor.

Análisis de Resultados para el Calor Generado.

ANOVA					
FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F EXP	F TAB
	gl	SC	CM		
v. factores				3,85	0,117
F2: fuerza de aplast.	2	1248222	624111		
F1: v de rotación.	2	589498	294749		
V.error	4	647848	161962	1,82	0,274
V.total	8	2485569			

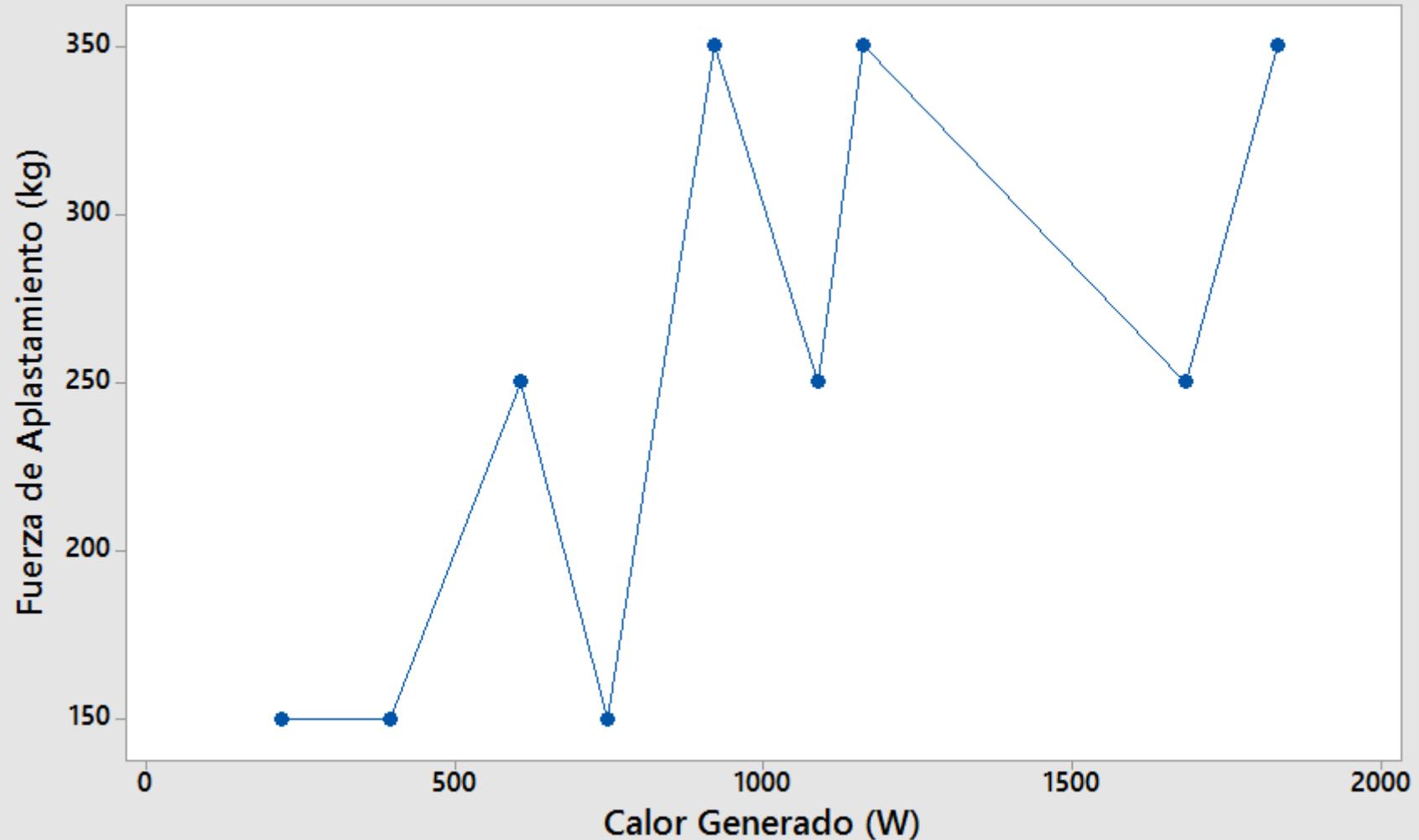
RESULTADOS TABLA ANOVA

Relación Parámetros Vs Resultados.



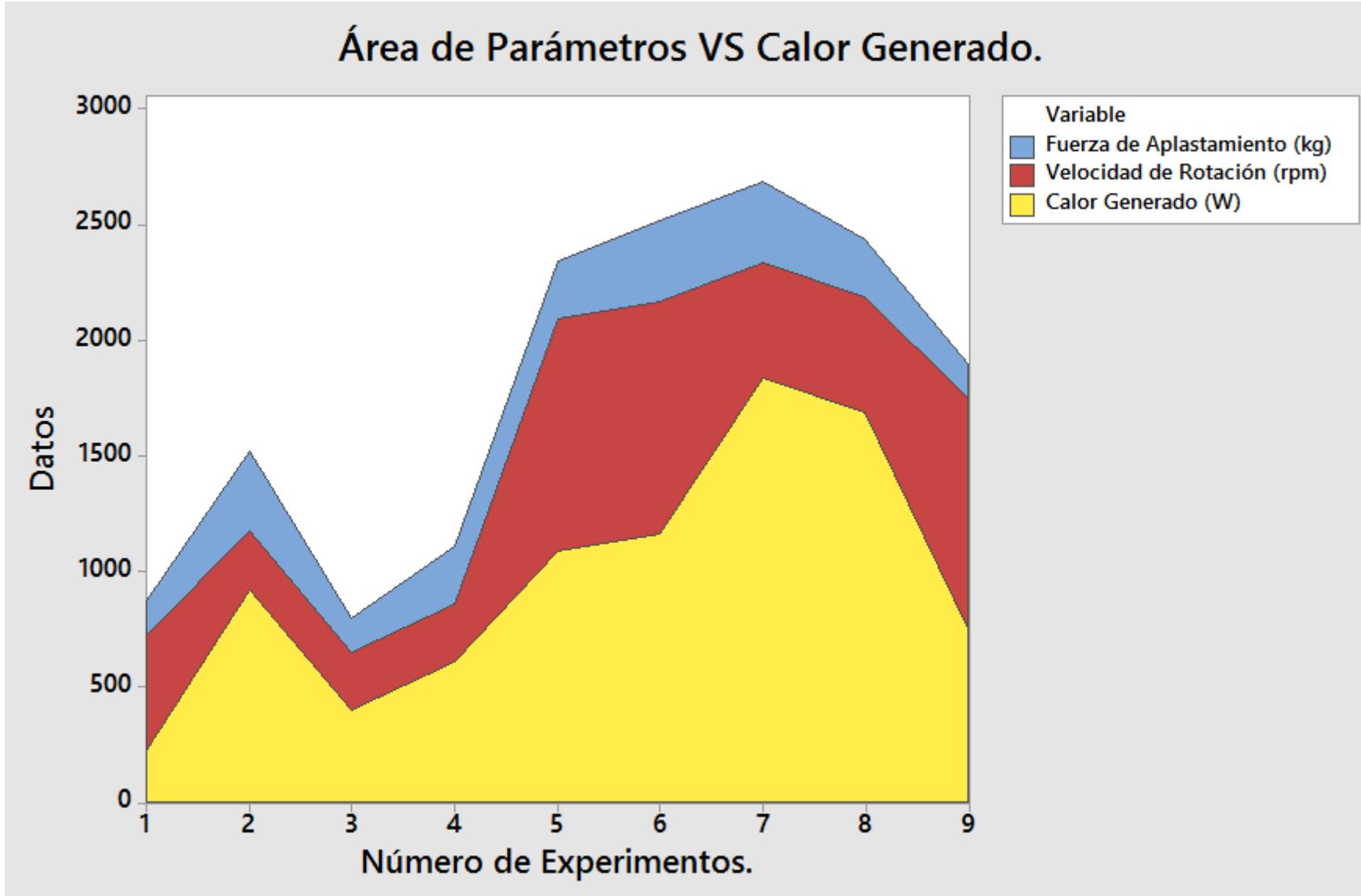
RESULTADOS TABLA ANOVA

Fuerza de Aplastamiento Vs Calor Generado.



RESULTADOS TABLA ANOVA

Área de Parámetros VS Calor Generado.



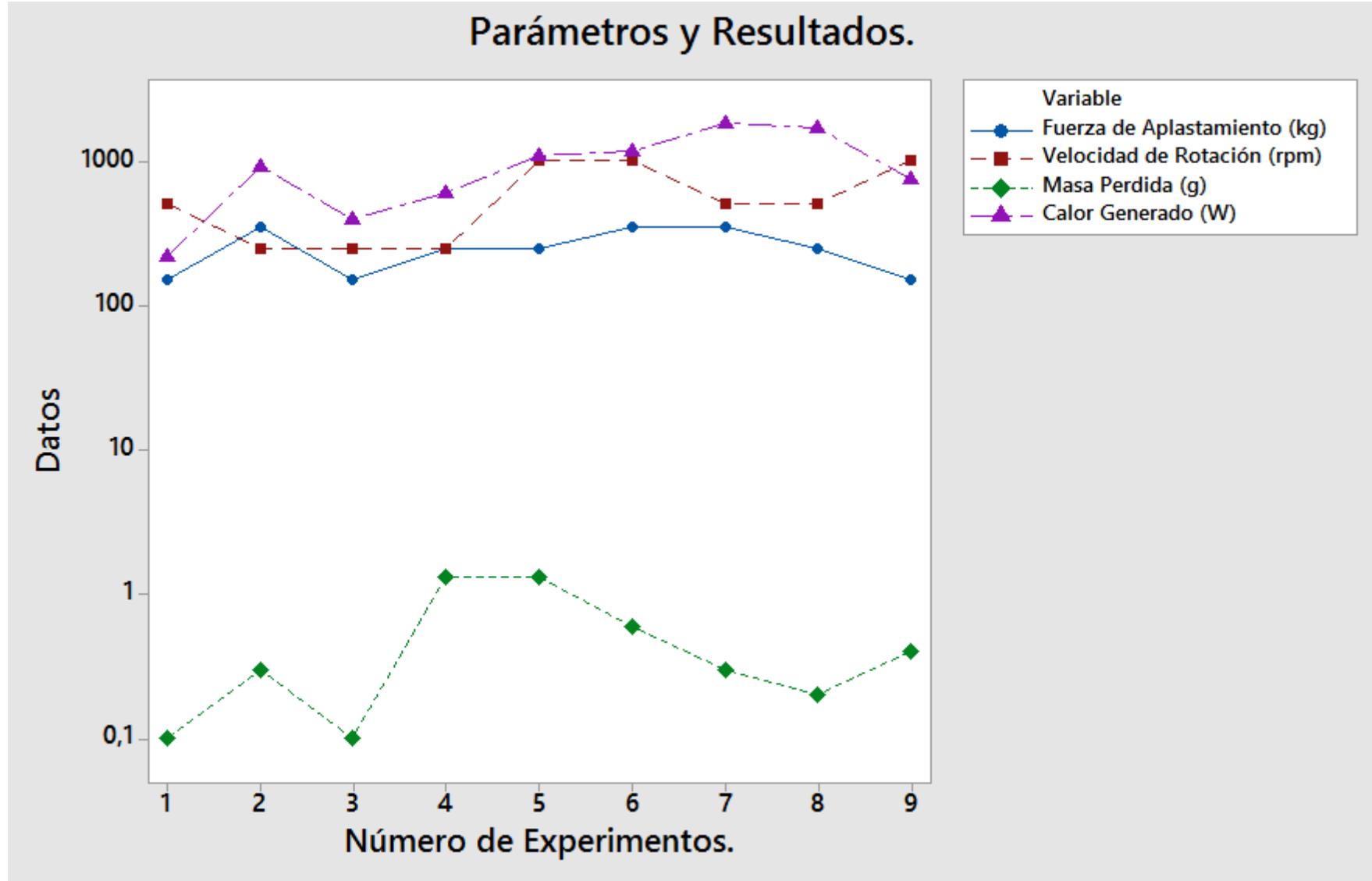
ANÁLISIS DE VARIANZA: TABLA ANOVA

- Para la velocidad de rotación:
 - H0: La velocidad de rotación no afecta a la pérdida de masa.
- Para la fuerza de aplastamiento:
 - H1: La fuerza si afecta a la pérdida de masa.

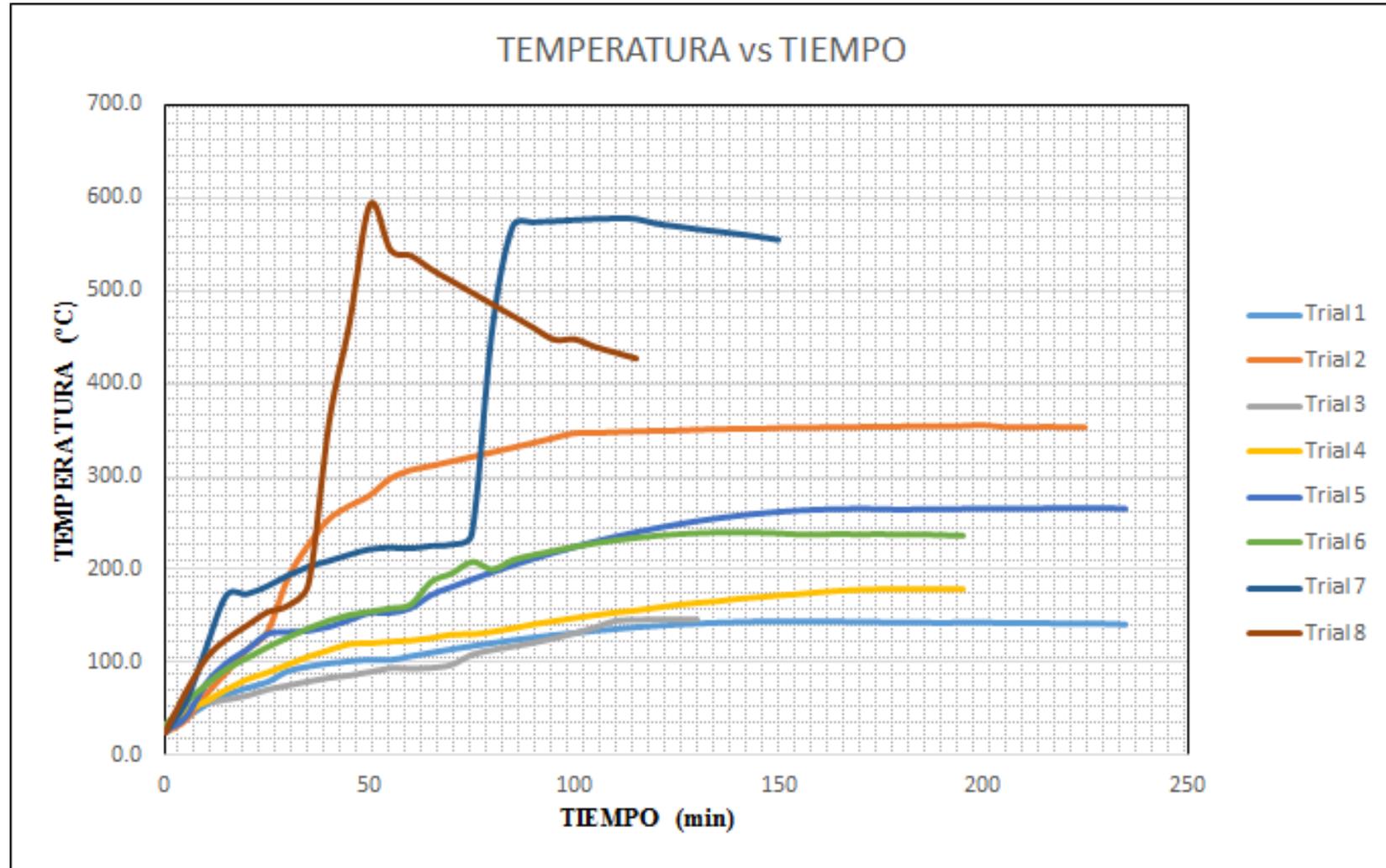
Análisis de Resultados para Pérdida de Masa.

ANOVA					
FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRAD	CUADRADO MEDIO	F EXP	F TAB
	gl	SC	CM		
v. factores				4,00	0,111
F2: fuerza de aplast.	2	0,8622	0,4311		
F1: v de rotación.	2	0,4956	0,2478		
V.error	4	0,4311	0,1078	2,30	0,216
V.total	8	1,7889			

RESULTADOS TABLA ANOVA



ANÁLISIS FINAL DE RESULTADOS





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

- Geometría óptima.
- Factor de seguridad de las probetas adecuados.
- Tolerancias óptimas adecuadas.
- Tipo de desgaste después de los ensayos.
 - En el acero.
 - En el bronce.
- Sistema de sujeción.
 - Anillo
 - Chaveta
- Temperaturas alcanzadas.
- Crecimiento homogéneo de temperaturas.
- Conclusión general.

RECOMENDACIONES

- Sobre la temperatura máxima alcanzada.
- Deformaciones permanentes.
- Disminución de la resistencia de los materiales.
- Descentramiento y alineación.

RECOMENDACIONES

- Sobre la temperatura máxima alcanzada.
- Deformaciones permanentes.
- Disminución de la resistencia de los materiales.
- Descentramiento y alineación.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FIN

