

*Universidad Tecnológica Nacional*

*Facultad Regional Villa María*

*Ingeniería Mecánica - Materiales Metálicos*

*Trabajo Práctico 3-06*

*Grupo DEL RÍO:*

- *Abregú, Iván.*
- *Antico, Rodrigo.*
- *Brussa, Julián.*
- *Cabral, Franco.*
- *Cárdenas, Felipe.*
- *Cardozo, Martín.*
- *Córdoba, Nathan.*
- *Cucco, Ramiro.*
- *del Río, Juan.*
- *Guerini, Nazareno.*
- *Medina, Ivo.*
- *Ortiz, Gastón.*
- *Picos, Elías.*
- *Quinteros, Lautaro.*

*Docentes:*

- *Dr. Lucioni, Eldo José.*
- *Ing. Victorio Vallaro, Juan Manuel.*

21 de agosto de 2025

# Índice

1. Propósito y Fundamento del Caso de Estudio	1
2. Análisis Metalúrgico del Caso	1
3. Modelo Matemático Adoptado	2
4. Resultados de Simulación	2
5. Conclusiones	4

## Resumen

Analice, investigue e interprete el contenido relacionado con los Casos de Estudio de la bibliografía que se indica a continuación a fin de adquirir efectuar una explicación detallada de los mismos. Adicionalmente, debe emplear Matlab y Python para estar en capacidad de determinar los efectos de la variación de los requerimientos iniciales y de los valores de las propiedades en el modelo de solución adoptado. [NOTA: Anualmente la Cátedra asignará los Casos de Estudio a cada equipo de trabajo].

- Software. {MM-CAD-TP 3-06}.
- Ashby, M.F. y Jones, D.R.H. Materiales para Ingeniería 2. 1ra Edición. 2009. Cap. 13 Casos prácticos con aceros. {MM-CAD-0.0.0}.
  - 13.1 Investigación metalúrgica después de la explosión de una caldera (1\*) [Caso 2025].

## 1. Propósito y Fundamento del Caso de Estudio

Este caso práctico tiene como finalidad comprender cómo los fenómenos metalúrgicos y mecánicos influyen en la falla de componentes de servicio a alta temperatura. Se estudiará la rotura de un tubo de caldera de acero al carbono sometido a presión interna y temperaturas elevadas, con el fin de relacionar la microestructura obtenida, las propiedades mecánicas y el mecanismo de fallo observado.

## 2. Análisis Metalúrgico del Caso

La tubería estudiada estaba fabricada en un acero de bajo carbono (Fe-0,18 %C, 0,45 %Mn, 0,20 %Si). Bajo condiciones normales debería presentar microestructura de ferrita + perlita (dureza  $\approx 1,5$  GPa). El análisis del tubo roto evidenció:

- En el borde de la rotura: dureza  $\approx 4$  GPa  $\rightarrow$  martensita (producto de enfriamiento muy rápido).
- En el interior: dureza  $\approx 2,2$  GPa  $\rightarrow$  bainita (enfriamiento intermedio).

Esto indica que la tubería se sobrecalentó por encima de la temperatura crítica  $A_3 \approx 870^\circ\text{C}$  y sufrió un enfriamiento brusco durante la explosión, generando una microestructura templada.

Las posibles causas del sobrecalentamiento local fueron:

1. Formación de depósitos de incrustaciones (agua dura) en la pared interna, actuando como aislante térmico.
2. Alteraciones en la convección natural, generando una película de vapor seco que impidió el enfriamiento.

### 3. Modelo Matemático Adoptado

El modelo de fluencia utilizado se basa en la ecuación simplificada:

$$t_r = A \sigma^{-n} e^{\frac{Q}{RT}} \quad (1)$$

donde:

- $t_r$  = tiempo a rotura (s).
- $\sigma$  = tensión circunferencial de la tubería (MPa).
- $T$  = temperatura absoluta (K).
- $R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ .
- $Q = 240 \text{ kJ/mol}$  (energía de activación).
- $n = 4$  (exponente de tensión).
- $A$  = constante calibrada para cumplir que a  $900^\circ\text{C}$  y  $\sigma = 50 \text{ MPa} \rightarrow t_r \approx 15 \text{ min}$ .

La tensión circunferencial se estima como:

$$\sigma = \frac{pr}{t} \quad (2)$$

donde  $p$  es la presión interna,  $r$  el radio del tubo y  $t$  el espesor de pared.

### 4. Resultados de Simulación

Se realizaron simulaciones en **Python** y **MATLAB** utilizando los scripts `creep_model_full.py` y `creep_model_full.m`. Se generaron las siguientes gráficas:

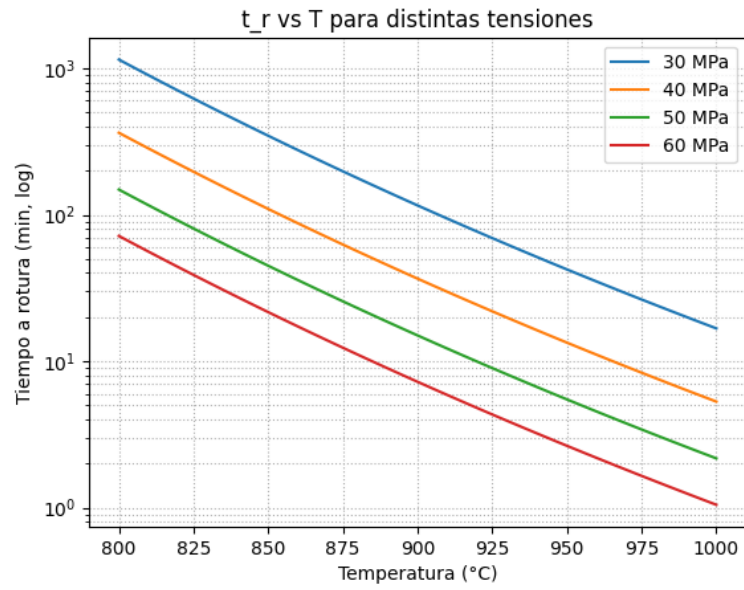


Figura 1: Tiempo a rotura en función de la temperatura para distintas tensiones.

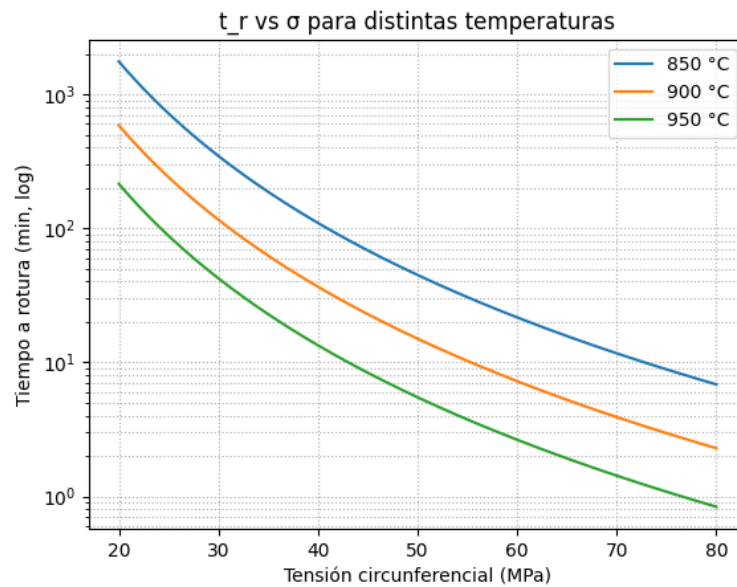


Figura 2: Tiempo a rotura en función de la tensión circunferencial a distintas temperaturas.

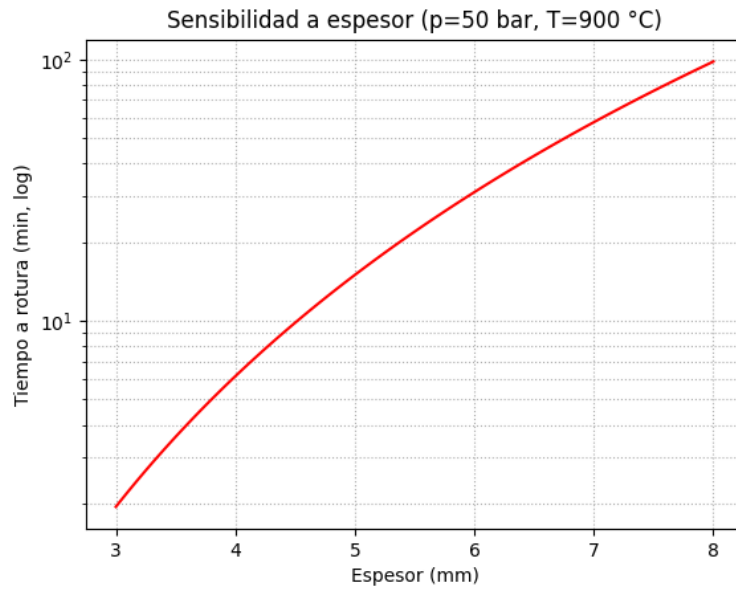


Figura 3: Sensibilidad del tiempo a rotura con respecto al espesor de pared.

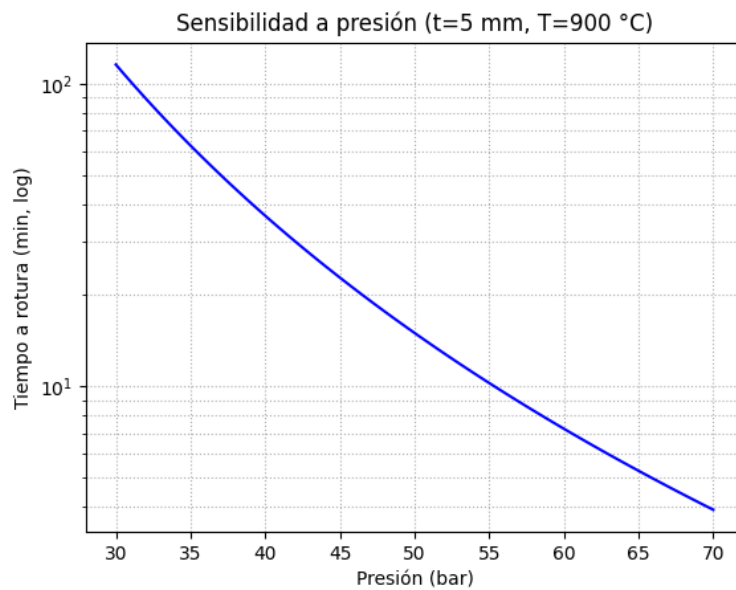


Figura 4: Sensibilidad del tiempo a rotura con respecto a la presión interna.

## 5. Conclusiones

- La falla del tubo se debió a un episodio de sobrecalentamiento local que llevó al acero a superar los  $870$  °C, transformándose a austenita.
- La brusca liberación de presión provocó un enfriamiento rápido, generando martensita y bainita en la zona afectada.
- El modelo de fluencia muestra que a  $900$  °C y  $\sigma \approx 50$  MPa, el tiempo a rotura esperado es de minutos, coherente con el caso real.

- Variaciones en espesor y presión modifican fuertemente la vida en servicio, evidenciando la importancia del diseño seguro.

*Este trabajo fue elaborado con la ayuda de la IA y otras páginas de ayuda para facilitar la confección y disposición de los elementos en dicho trabajo.*