

Confiabilidad estructural de componentes mecánicos con daño

R. Mussini & H. Cancela

2020

Resumen

- Confiabilidad estructural y probabilidad de falla
- Daño, falla y sus diferencias
- Imperfecciones geométricas más comunes y sus características morfológicas
- Impacto de las imperfecciones geométricas en el estado tensional de los componentes mecánicos
- Comentarios finales

Referencias

- [1] I. Le May, James L. Mc. Call, P. M. French (Editors); *Metallography in failure analysis*, Springer US, 1978.
- [2] Neubauer, B., Wedel, U.; *Rest Life Estimation of Creeping Components by Means of Replicas*, Advances in Life Prediction Methods, American Society of Mechanical Engineers, 1983.
- [3] ASM Handbook, *Failure Analysis and Prevention*, Volume 11, ASM, 2002.
- [4] Norman E. Dowling; *Mechanical Behavior of Materials - Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue*, 4th Edition, Pearson, 2013.
- [5] C. J. Han, H. Zhang, J. Zhang; *Failure Pressure Analysis of the Pipe with Inner Corrosion Defects by FEM*, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 11, 2016.

Confiabilidad estructural y probabilidad de falla

R^{STR} - confiabilidad

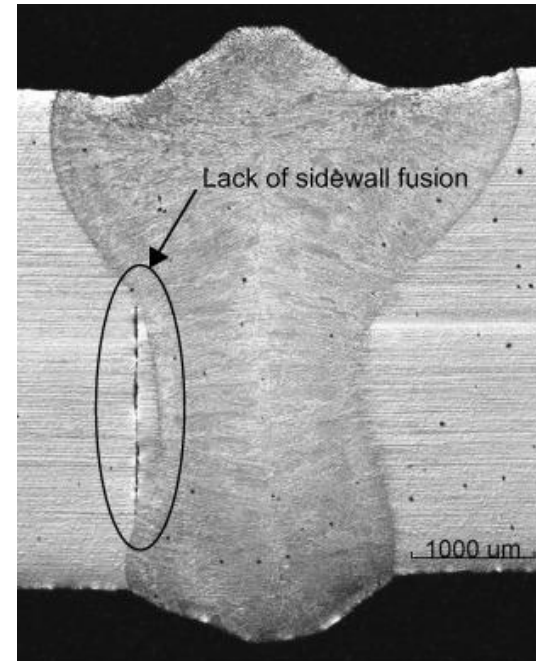
p_f - probabilidad de falla

$$R^{STR} = 1 - p_f$$

Cuanto mayor es la confiabilidad de un componente mecánico, R^{STR} menor será su probabilidad de falla, p_f .

Daño

- *Degradación del material de un componente mecánico que tiene como consecuencia un incremento en su probabilidad de falla, p_f .*
- El daño puede originarse durante cualquiera de los siguientes procesos:
 - a) *fabricación (“daño de fabricación”)*
 - b) *servicio (“daño de servicio”)*

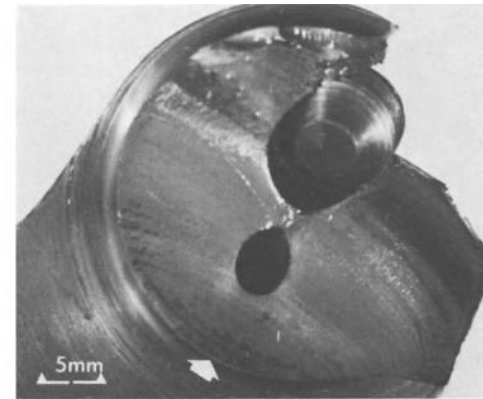


Daño de fabricación generado durante el proceso de soldadura.

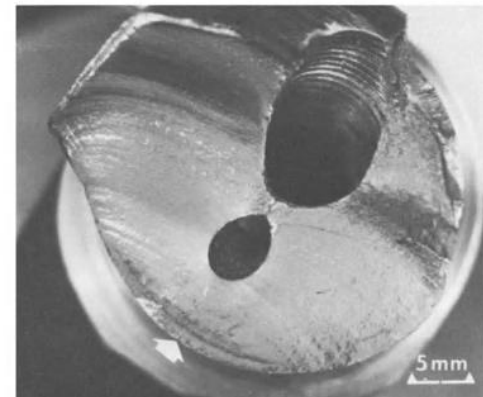
Falla

- *Pérdida de la función para la cual fue diseñado un componente mecánico.*
- La falla tiene lugar como consecuencia de la activación de uno o más mecanismos de daño que actúan simultáneamente en alguna dada posición del componente.

(a)



(b)



I. Le May, James L. Mc. Call, P. M. French (Editors);
Metallography in failure analysis, Springer US, 1978.

Mecanismos de daño y su clasificación en función del tiempo

- Mecanismos de degradación del material los cuales pueden ser incluidos en alguno de los siguientes grupos:

a) instantáneos (ej. sobrecarga)

b) dependientes del tiempo (ej. fatiga, corrosión, corrosión-fatiga, desgaste, etc.)

Mecanismos de daño en la industria

Algunos sectores industriales

Existe un gran número de mecanismos de daño en materiales metálicos, no obstante en cada sector de la industria existen algunos de ellos que son más frecuentes que otros.

- Celulosa y papel
- Petróleo y gas
- Química
- Energía eólica
- Energía nuclear
- Transporte

Diferencia entre daño y falla

- El daño en componentes mecánicos involucra específicamente un aumento en su probabilidad de falla, p_f pero no necesariamente la ocurrencia de este último evento.
- Cuanto mayor sea la magnitud del daño en el material de un componente mecánico, mayor será su probabilidad de falla, p_f .
- El evento de falla siempre es precedido de la acción de uno ó más mecanismos de daño.
- Observación muy importante: las definiciones de “daño”, “mecanismos de daño” y “falla” vertidas anteriormente, son específicas de este curso; debe notarse muy especialmente que las mismas pueden variar entre diferentes autores.

Imperfecciones geométricas más comunes y sus características morfológicas

Tipos de imperfecciones

Las imperfecciones, también designadas algunas veces como discontinuidades, pueden ser clasificadas como:

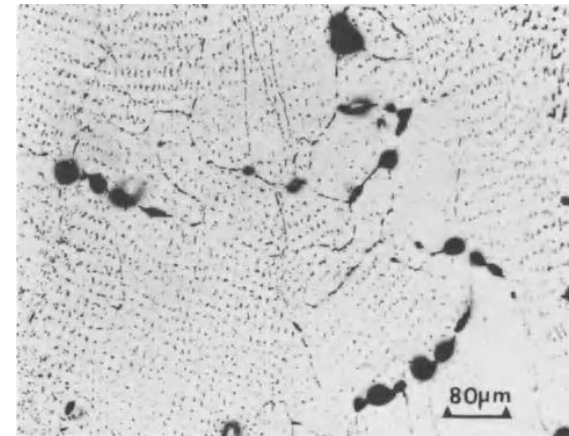
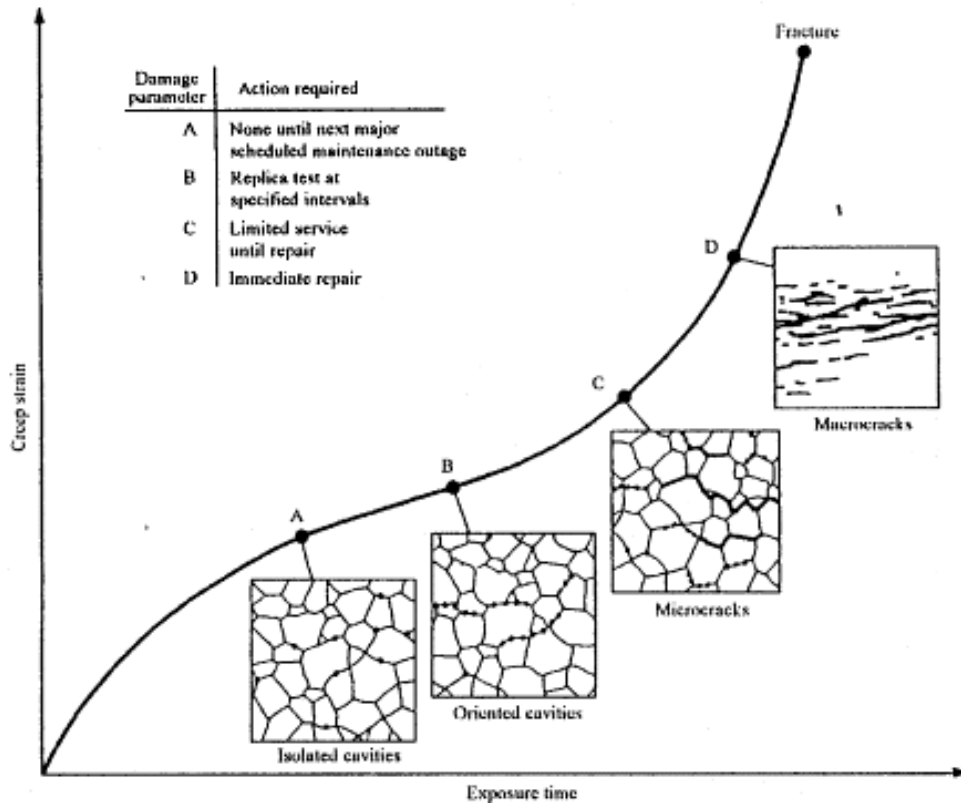
- ***Imperfecciones microestructurales***
- ***Imperfecciones geométricas***

Las imperfecciones geométricas pueden ser generadas durante el transcurso de los diferentes procesos de fabricación o durante el uso, a través de la activación de algún mecanismo de daño.

Las imperfecciones geométricas también pueden ser generadas como consecuencia de la presencia de imperfecciones microestructurales previamente existentes, ver ejemplo del creep.

En el presente curso sólo se van a considerar las imperfecciones geométricas y nó la fuente de las mismas.

Imperfección geométrica precedida de imperfección microestructural en el creep



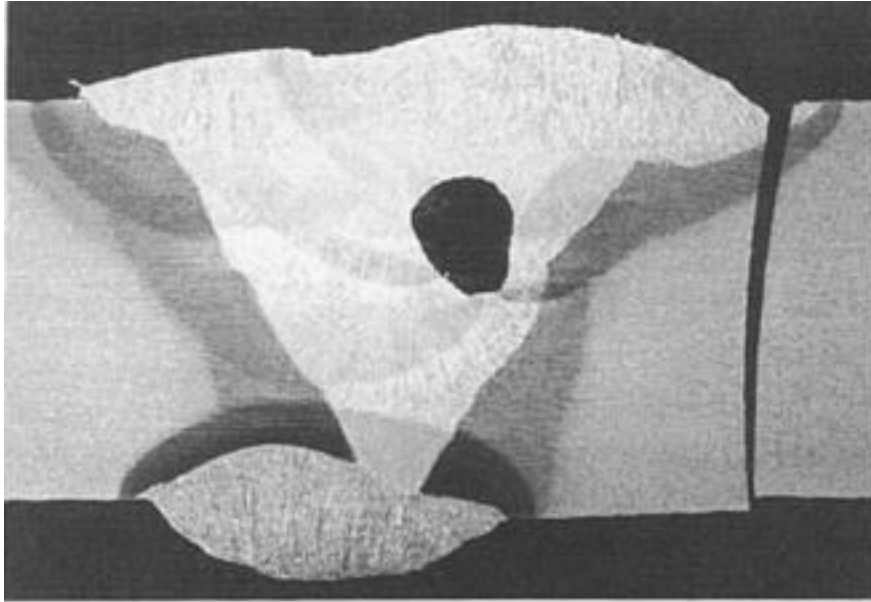
316 L weld metal which failed by creep at high temperature, showing r-type voids (cavities).

I. Le May, James L. Mc. Call, P. M. French (Editors); *Metallography in failure analysis*, Springer US, 1978.

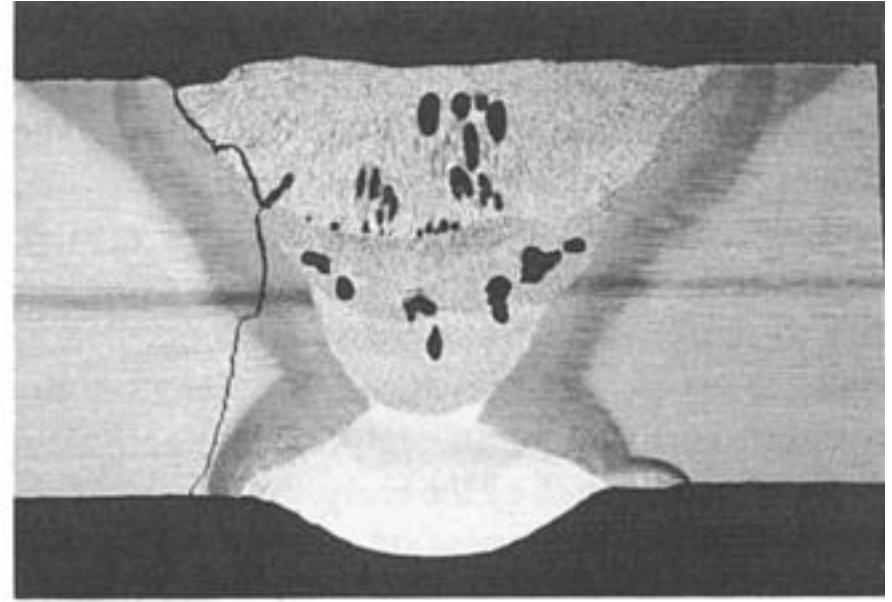
Algunos tipos de imperfecciones geométricas

- Poros en soldaduras
- Fisuras en material base
- Fisuras en soldaduras
- Zonas afinadas localmente (Local Thin Area, LTA) por corrosión
- Picado por corrosión (pitting corrosion)

Fisuración y fractura por fatiga e imperfecciones geométricas en una soldadura



(a)

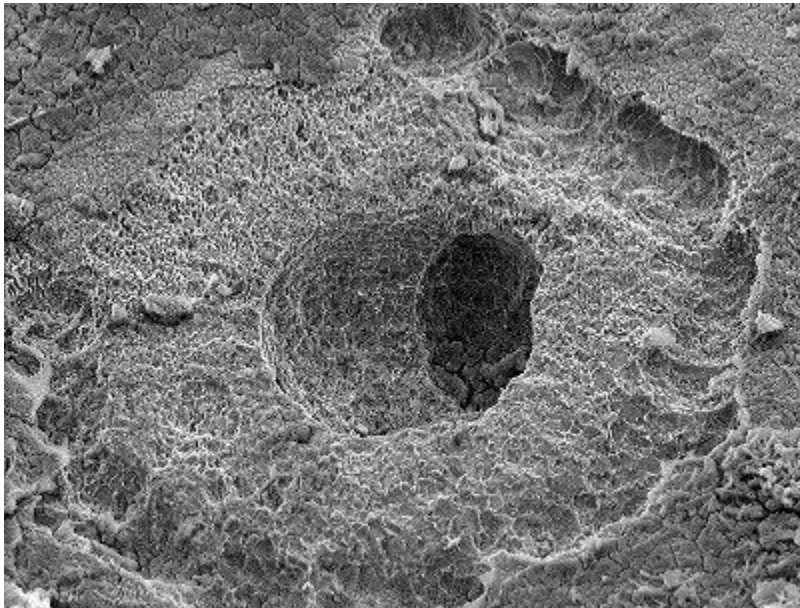


(b)

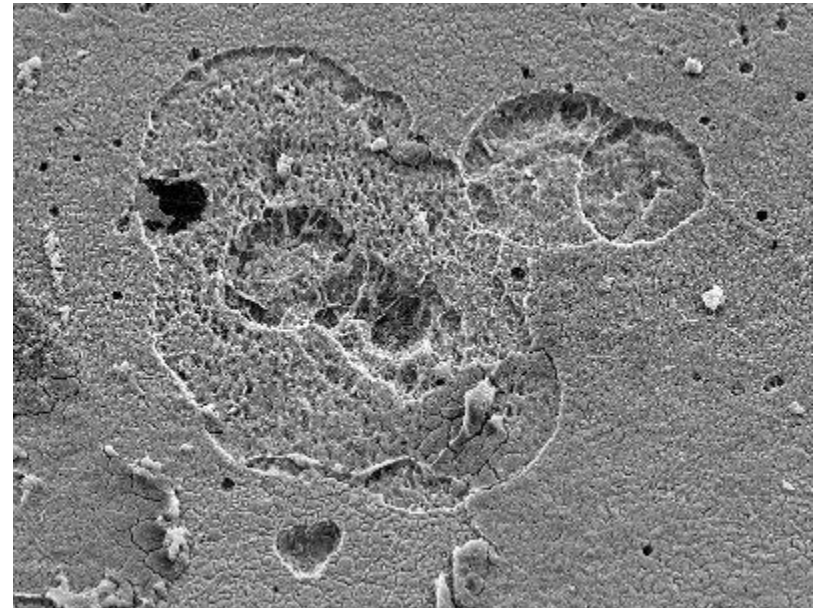
Fisuración y fractura por fatiga en el “talon” de una soldadura e imperfecciones volumétricas en una junta a tope (a) inclusión de escoria y (b) porosidad.

ASM Handbook, *Failure Analysis and Prevention*, Volume 11, ASM, 2002.

Imperfecciones geométricas de picado por corrosión



4105-32 large deep pit 180X 32Kv 100 μm



4105-33 shallow pits 200X 32Kv 100 μm

<https://pmetlabservices.com/library/Corrosion/index3.html>

Picado por corrosión (pitting corrosion) - variaciones de la forma de la sección transversal

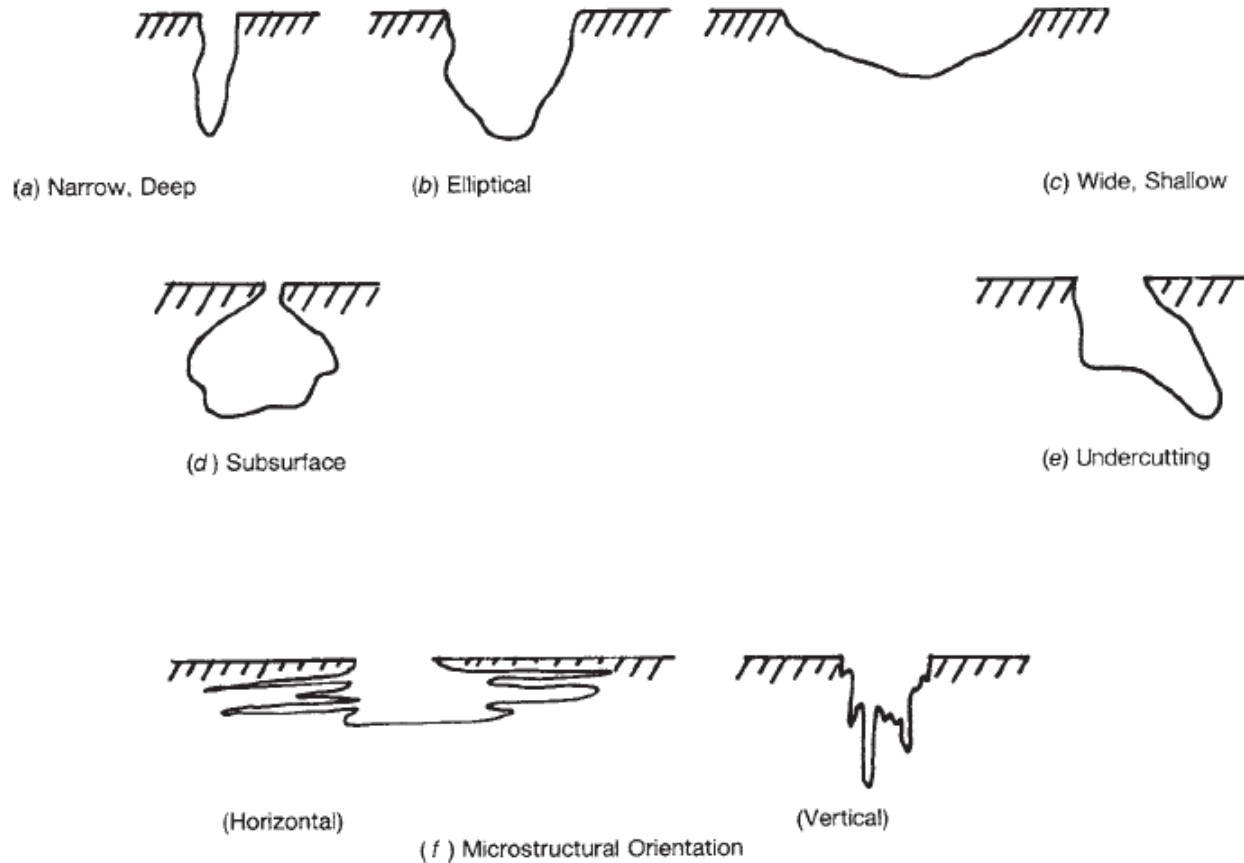


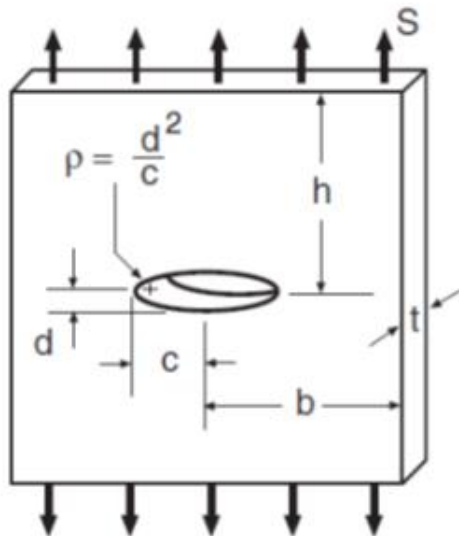
FIG. 1 Variations In the Cross-Sectional Shape of Pits

Impacto de las imperfecciones geométricas en el estado tensional de los componentes mecánicos

Distribución de tensión en presencia de un agujero elíptico pasante en una placa sometida a tracción (no se considera σ_x)

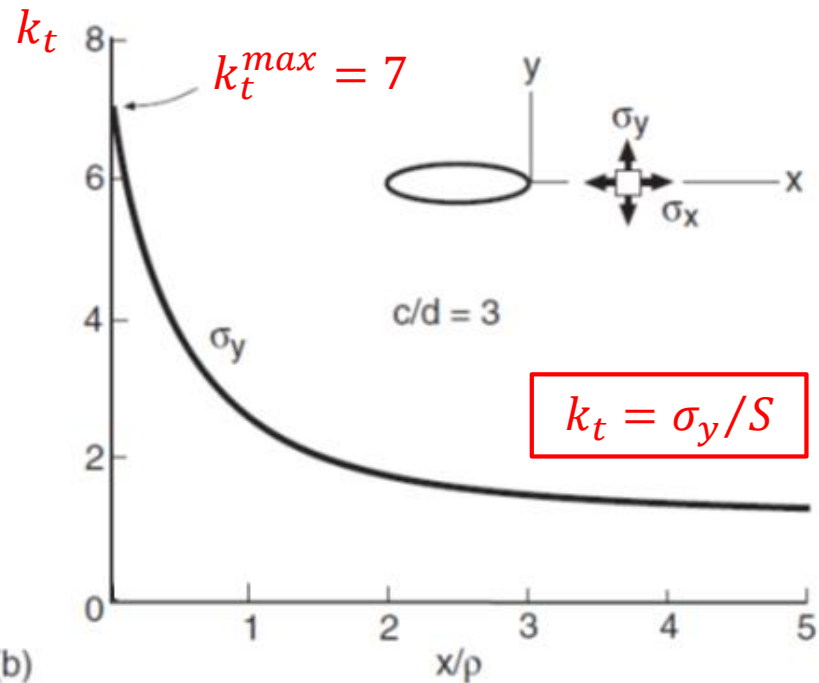
$$\sigma_y^{max} = S[1 + 2(c/d)] = S(1 + 2\sqrt{c/\rho})$$

S – tensión nominal
 σ_y – tensión local

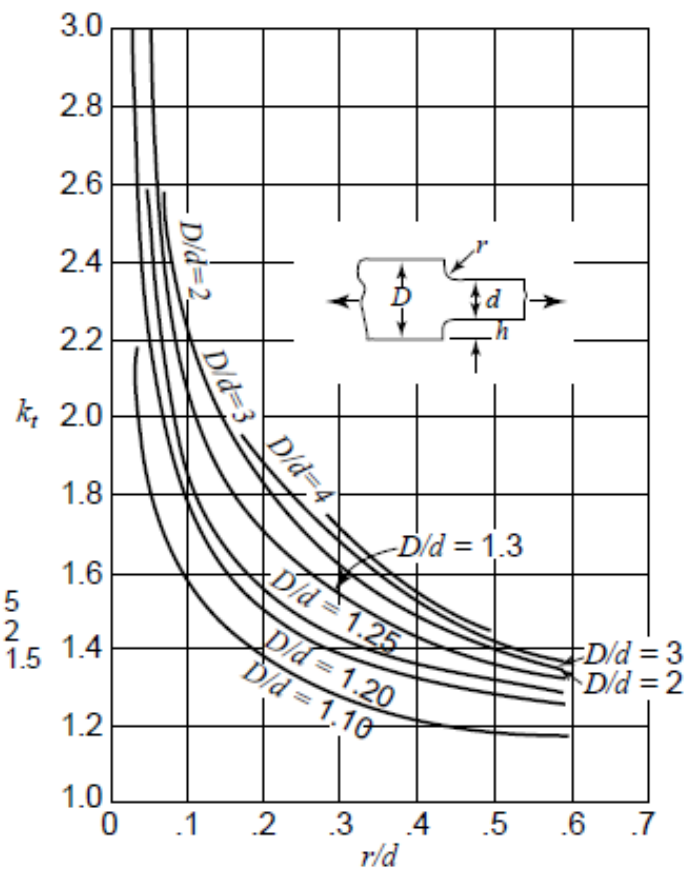
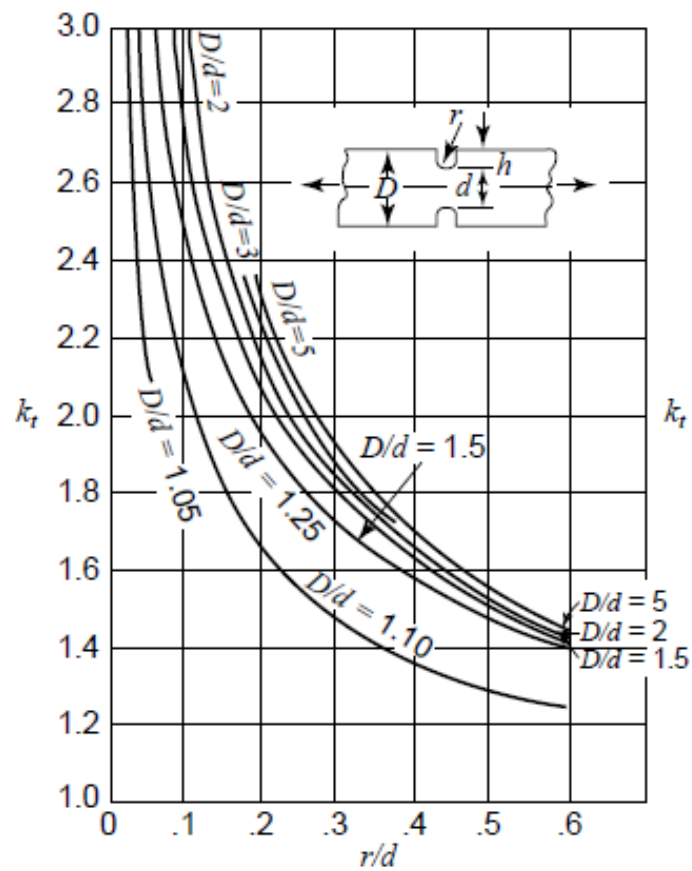


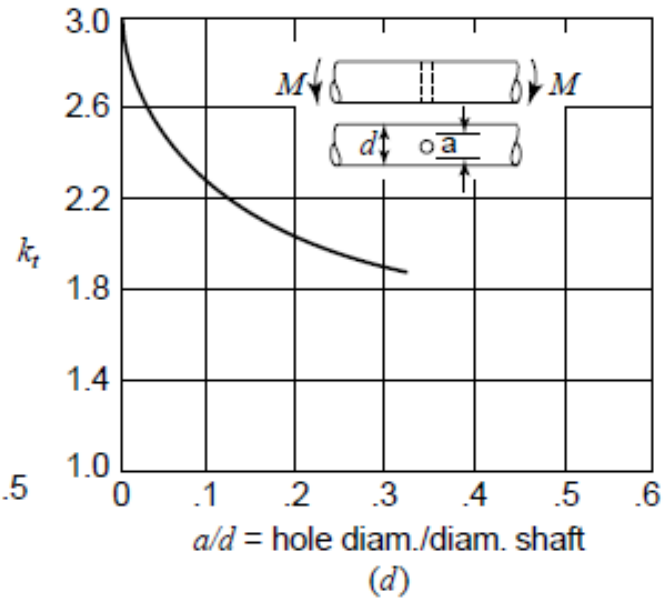
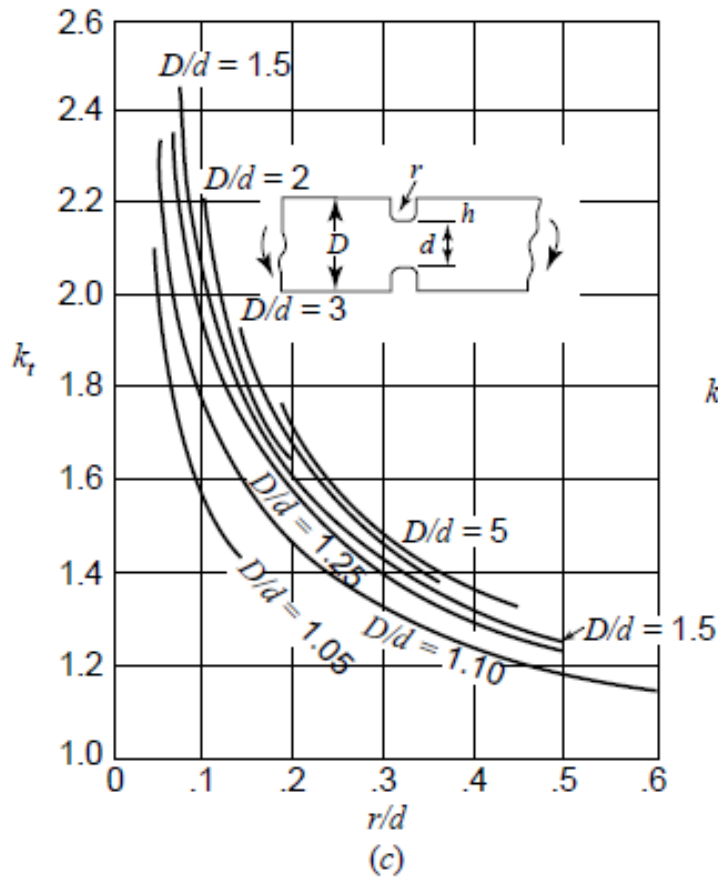
(a)

k_t – factor de concentración de tensión



(b)



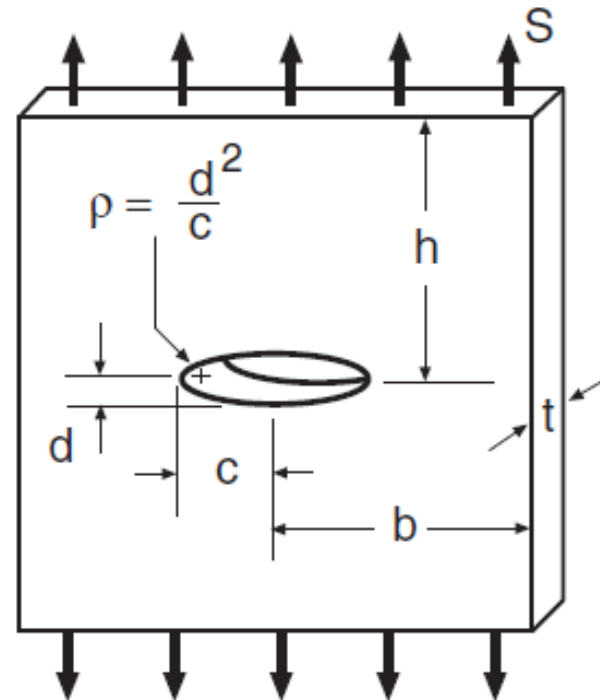


Distribución de tensión teórica en presencia de una fisura

En una fisura $\rho \rightarrow 0$, por lo tanto la tensión σ_y en $x = 0$ (extremo de la fisura) es,

$$\sigma_y^{max} = S(1 + 2\sqrt{c/\rho}) \rightarrow \infty$$

Valor teórico (físicamente imposible!).

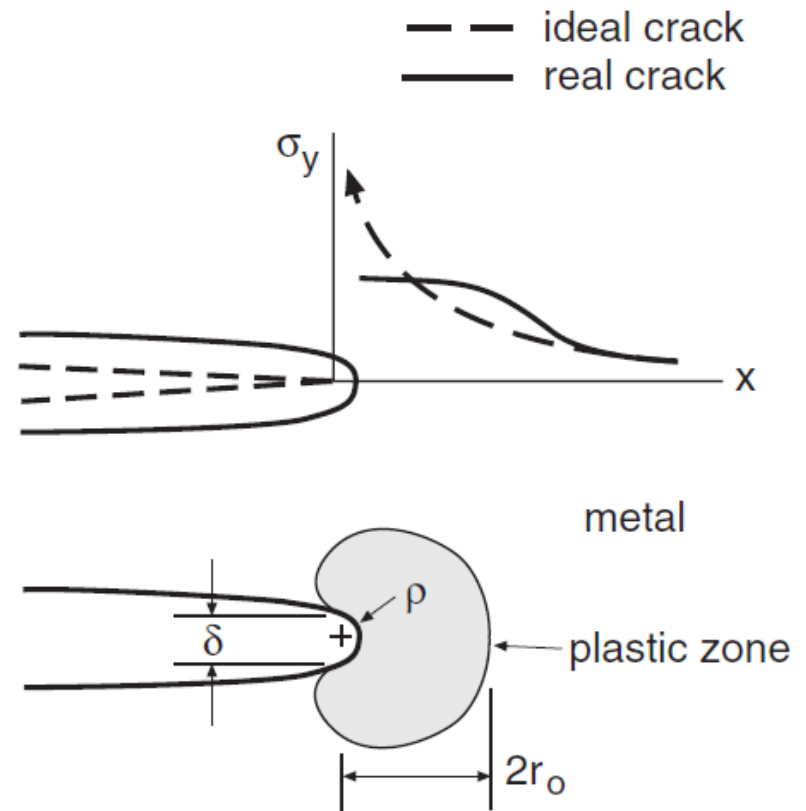


(a)

Distribución de tensión real en presencia de una fisura en el caso de un material metálico

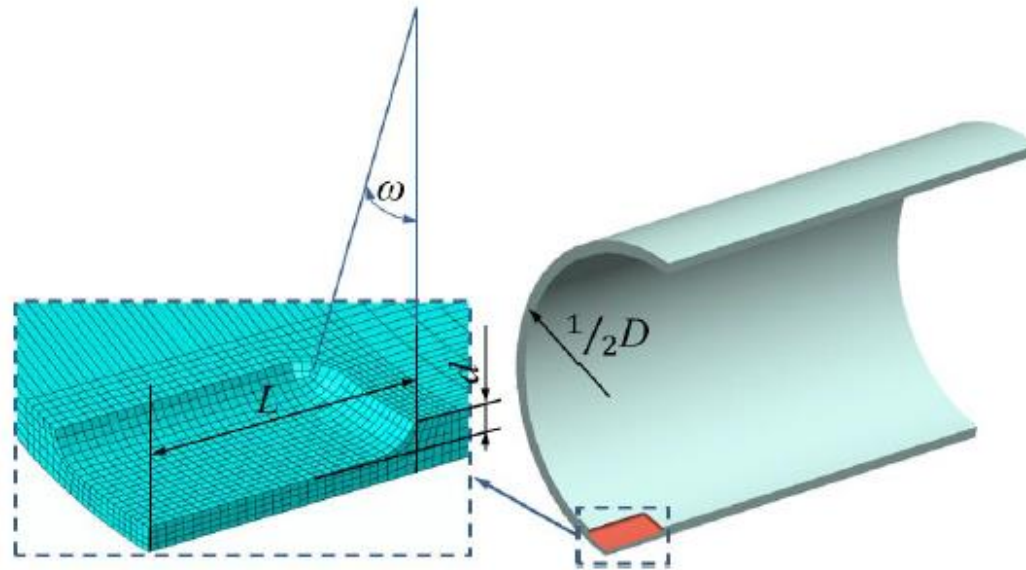
Si la tensión nominal, S no es muy grande, el material metálico puede acomodar la presencia de una fisura inicialmente aguda ($\rho \rightarrow 0$) de forma tal que el valor de la tensión teórica σ_y^{max} en $x = 0$ es reducida hasta un valor finito.

La intensa deformación plástica en la punta de la fisura (zona gris en la Fig.) resulta en el “desafilado” (blunting) de la misma hasta un valor de $\rho > 0$.



Norman E. Dowling; *Mechanical Behavior of Materials - Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue*, 4th Edition, Pearson, 2013.

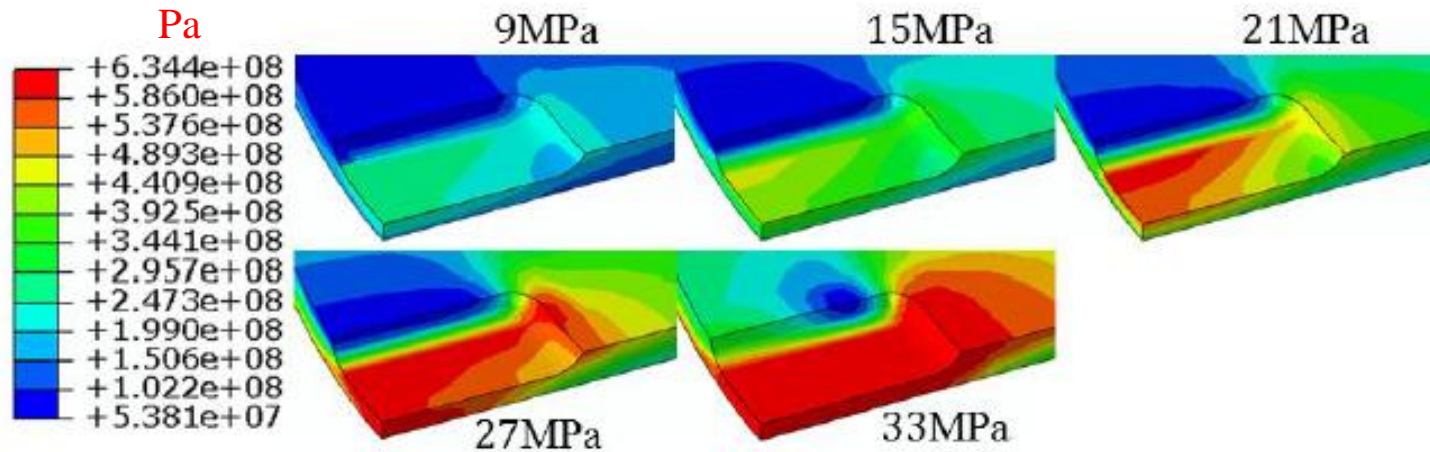
Modelo de elementos finitos de un tubo sometido a presión interna conteniendo una imperfección geométrica LTA



Pipeline			Corrosion defect		
Diameter (mm)	Length (mm)	Wall thickness (mm)	Length L (mm)	Width ω	Depth d (mm)
273.1	800	10	120	20°	5

C. J. Han, H. Zhang, J. Zhang; *Failure Pressure Analysis of the Pipe with Inner Corrosion Defects by FEM*, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 11, 2016.

Distribución de tensión de Von Mises en la LTA del tubo bajo diferentes niveles de presión en el mismo



C. J. Han, H. Zhang, J. Zhang; *Failure Pressure Analysis of the Pipe with Inner Corrosion Defects by FEM*, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 11, 2016.

$$\sigma_e = \sqrt{\left\{ \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2] + [(\sigma_2 - \sigma_3)^2] + [(\sigma_3 - \sigma_1)^2] \right\}}$$

Comentarios finales

- El estado tensional en cada punto de un componente mecánico ó miembro estructural, es controlado por la acción de las cargas aplicadas al mismo, y por las particularidades de su geometría.
- Aún en el presente, se considera que la existencia de imperfecciones geométricas de cualquier tipo en componentes mecánicos, constituye una considerable fuente de incertidumbre durante el análisis estructural de los mismos.