

## TENSIONES LOCALIZADAS PRODUCIDAS POR DISCONTINUIDADES GEOMÉTRICAS COMBINADAS.

Ricardo Mario Amé<sup>1\*</sup>, Gabriel María Dasso<sup>2\*</sup>, Daniel Hernán Lezama<sup>3</sup>

1-Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Camino de Cintura y Juan XXIII, Lomas de Zamora, Provincia de Buenos Aires, Argentina, ingricardoame@gmail.com

2- Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Camino de Cintura y Juan XXIII, Lomas de Zamora, Provincia de Buenos Aires, Argentina, gabriel.dasso@gmail.com

3- Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Camino de Cintura y Juan XXIII, Lomas de Zamora, Provincia de Buenos Aires, Argentina, danielhlezama@gmail.com

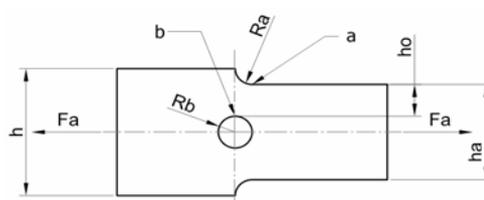
**Palabras clave:** Concentración de tensiones, elementos de máquinas, FEA.

### Resumen

Los componentes mecánicos, especialmente en máquinas y estructuras metálicas, se diseñan con formas diversas que incluyen cambios de sección, agujeros, zonas roscadas, chaveteros y múltiples discontinuidades geométricas que producen elevaciones localizadas de las tensiones. En oportunidades, se presenta la superposición de dos o más discontinuidades en una misma sección o en secciones muy cercanas, dificultando la determinación del valor de la tensión localizada.

Descripción del trabajo: se aplica un software de cálculo de tensiones por elementos finitos para obtener la distribución de las tensiones localizadas en un espécimen con discontinuidades geométricas combinadas, expuesto a carga axial. Se elaboran gráficos de utilización simple a los fines prácticos del diseño mecánico.

Metodología: el análisis presentado se limita a un cuerpo con discontinuidades geométricas de dimensiones macroscópicas, es decir son suficientemente grandes como para evitar la aplicación de otras teorías de análisis de tensiones. Se acepta la aplicabilidad del software y la validez del método, por experiencias previas [1].



Resultados: se obtienen valores del  $K_t$  para el punto  $a$  y el  $b$ . El factor para el punto  $b$  es menor a 3 para relaciones  $R_b/R_a < 1,1$ . Al aumentar esta relación también lo hace el factor  $K_t$ . Lo mismo para el punto  $a$  pero el factor  $K_t$  se incrementa más acentuadamente. El punto  $b$  es afectado por la variación del radio  $R_b$  más pronunciadamente que el punto  $a$ .

Conclusiones: la información disponible en la bibliografía para casos de concentradores geométricos combinados es escasa y en algunos casos de aplicación dudosa. Otros son específicos [2, 3]. Los resultados obtenidos no concuerdan con los consejos y sugerencias esgrimidas por los distintos autores.

## Introducción

Es muy importante considerar los efectos de la concentración de tensiones en los diseños de cuerpos sometidos a cargas, especialmente en los elementos de máquinas que soportan tensiones variables. Son concentradores de tensión aquellas discontinuidades geométricas, rugosidades e imperfecciones superficiales, ajustes con apriete entre partes, corrosión y todo producto de la manufactura o de los tratamientos térmicos y superficiales que incrementen localmente las tensiones nominales.

Es objetivo de este trabajo hacer un aporte al conocimiento del modo en que varían las tensiones en aquellos cuerpos en donde se practican -por necesidades del diseño- discontinuidades geométricas combinadas.

A partir de datos secundarios, obtenidos de la bibliografía especializada, se ha comprobado la escasa y precaria información que cuantifica el factor de concentración de tensiones derivado de efectos combinados, ya sea tecnológicos o geométricos. A partir de esta realidad, se ha trabajado en diferentes diseños obteniendo resultados sumamente interesantes [1, 4, 5].

En el presente estudio se ha obtenido el valor del factor de concentración de tensiones teórico o geométrico  $K_t$  para el caso de una pieza cargada axialmente, con dos discontinuidades geométricas en la misma sección transversal. La obtención del valor de dicho factor permite avanzar, luego, sobre el diseño de este componente cuando se encuentre sometido a fatiga.

## 1. Objeto de estudio

El objeto de estudio es una pieza plana, de espesor constante y dos anchos distintos, unidos a través de un radio de empalme, y un orificio circular, como se muestra en la Figura 1.

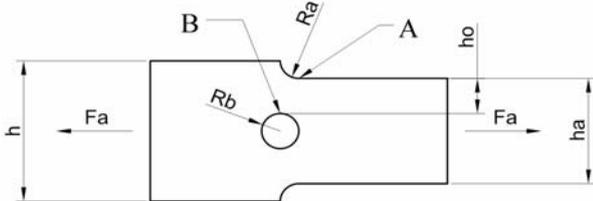


Figura 1: objeto de estudio

La sección de análisis es aquella transversal que pasa por el centro del orificio e incluye a los radios de enlace de ambas secciones planas.

El esquema se ha adoptado para compararse con los resultados presentados en la "Chart 3.1", pág. 151, y "Chart 4.1", pág. 270 [6].

La carga aplicada es axial, constante y centrada en cada una de las secciones extremas (aunque luego se transforma en una distribuida equivalente para la aplicación del *software*).

Las dimensiones de la pieza son: altura menor  $h_a=100\text{mm}$ , altura mayor  $h=130\text{mm}$ , espesor  $t=1\text{mm}$ , largo total  $200\text{mm}$ , radio del empalme entre secciones  $R_a=15\text{mm}$  (constante) y radio del agujero  $R_b$  variable de 5 a  $25\text{mm}$ .

La carga aplicada es  $F_a=20.000\text{ N}$ , generando la tensión de  $200\text{ MPa}$  en la sección menor.

El material considerado es acero, con  $E=210.000\text{ MPa}$  de módulo de elasticidad longitudinal y  $\mu=0,3$  de coeficiente de Poisson.

## 3. Herramienta de análisis.

Se utiliza un *software* de análisis de tensiones por elementos finitos cuya validación ya se ha comprobado en un trabajo anterior [1] y en el presente, donde por comparación con el gráfico "Chart. 3.1" de [6], para las relaciones  $h/h_a=2$  y  $R_a/h_a=0,1$  se obtuvieron las siguientes diferencias:  $-4,6\%$ ,  $-2,6\%$  para  $R_a/h_a=0,2$  y  $-3,5\%$  para  $R_a/h_a=0,3$ , valores de discrepancia (en menos) que se aceptan como poco significativos.

Con el fin de ahorrar tiempo de procesamiento, se trabaja con la mitad superior de la pieza -Figura 2- simétrica a la mitad inferior.

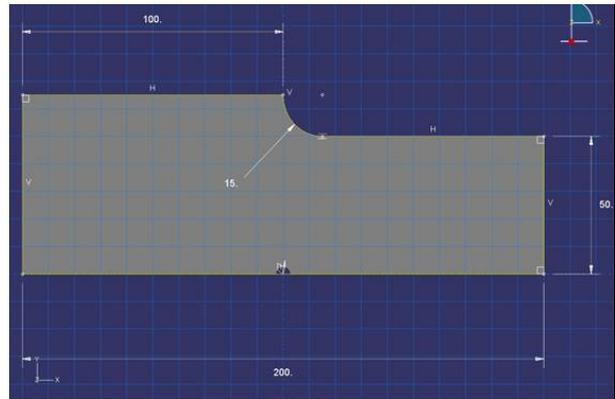


Figura 2: mitad superior simétrica de la pieza plana objeto de estudio

## 3. Metodología y resultados.

Se aplicó el *software* para obtener el valor de la tensión en los puntos A, en el final del radio de empalme, y B, en la línea del eje transversal del agujero (Figura 1). Para cada análisis se varió la dimensión del agujero central, manteniendo constante el resto de las magnitudes, es decir se obtuvieron resultados variando la relación  $R_b/R_a$ , con  $R_a$  constante.

Para calcular el valor del coeficiente de concentración de tensiones en cada uno de los puntos indicados se aplicó la relación:

$$K_t = \frac{\sigma_{m\acute{a}x.}}{\sigma_{rem}} \quad (1)$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x.}$  Tensión axial máxima registrada en el punto A, o punto B, según sea el análisis efectuado.

$\sigma_{rem.}$  Tensión axial "remota" a partir de:

$$\sigma_{rem.} = \frac{F_a}{t \cdot h_a} = 200\text{ MPa} \quad (2)$$

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para el factor teórico de concentración de tensiones  $K_tA$  en el punto A, y en la Tabla 2 los correspondientes al del punto B.

Los resultados se obtuvieron con  $R_a = 15\text{mm}$  constantes.

Tabla 1: valores del coeficiente teórico de concentración de tensiones  $K_{tA}$  para el punto A y distintas magnitudes de  $R_b$ .

Rb	Rb/Ra	$\sigma_A$	$K_{tA}$
mm		MPa	
5	0,33	364	1,82
10	0,67	364	1,82
15	1	368	1,84
20	1,33	381	1,90
25	1,67	408	2,04
30	2	466	2,33

Tabla 2: valores del coeficiente teórico de concentración de tensiones  $K_{tB}$  para el punto B y distintas magnitudes de  $R_b$ .

Rb	Rb/Ra	$\sigma_B$	$K_{tB}$
mm		MPa	
5	0,33	526	2,63
10	0,67	553	2,76
15	1	584	2,92
20	1,33	630	3,15
25	1,67	706	3,53
30	2	822	4,11

En la Figura 3, con los datos de la Tabla 1, se ha realizado el gráfico que muestra la variación del coeficiente de concentración teórico en el punto A, en función de la relación  $R_b/R_a$  variable.

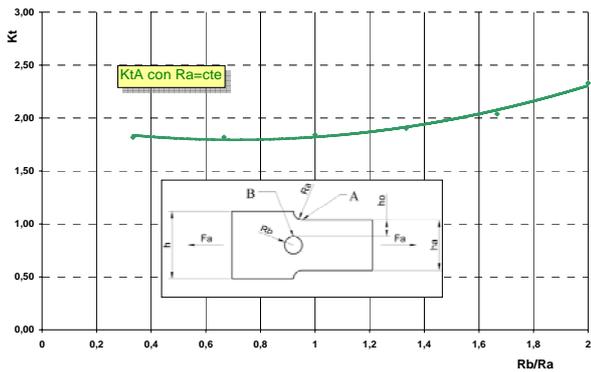


Figura 3: variación del factor teórico de concentración de tensiones para el punto A.

Del mismo modo, en la Figura 4, con los datos de la Tabla 2, se ha realizado el gráfico que muestra la variación del coeficiente de concentración teórico en el punto B, en función de la relación  $R_b/R_a$  variable.

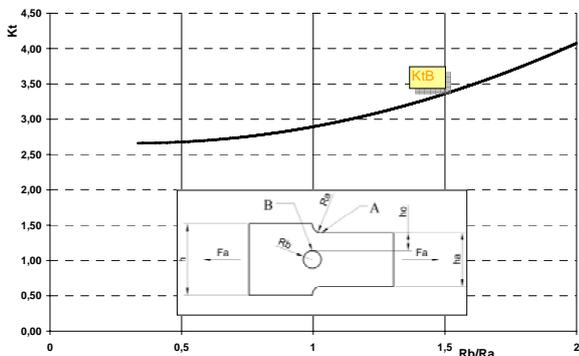


Figura 4: variación del factor teórico de concentración de tensiones para el punto B.

#### 4. Conclusiones.

Para la relación  $R_a/h_a=15/100=0,15$  y  $h/h_a=130/100=1,3$ , el valor del factor de concentración de tensiones  $K_t$  que se obtiene de la "Chart. 3.1" de [6] es 2. Este valor es el que corresponde a la relación  $R_b/R_a=1,5$  del gráfico de la figura 3. Para la referencia [6] ese valor del coeficiente corresponde a una reducción de la sección neta del 50%, en cambio, la presencia del orificio central lo determina para una reducción de sólo el 30%, indicando la incidencia de la discontinuidad combinada. Al igual que en la "Chart 3.1" ya indicada, existen valores de  $K_t$  por debajo de 2, a medida que el orificio central se hace más pequeño, y valores mayores, a medida que crece, quitando sección neta resistente.

En el gráfico de la Figura 4 puede observarse que, para la relación  $R_b/R_a=1,1$  el factor es igual a 3, disminuyendo levemente a medida que el orificio central se reduce, y aumentando cuando se agranda. Esto puede explicarse en relación a la sección neta resistente disponible en cada caso y, a que el tamaño del orificio puede ser determinante en el valor del coeficiente. Esta realidad concuerda con resultados similares obtenidos por los autores en otro trabajo [4]. También la mayor cercanía o lejanía entre las discontinuidades geométricas influye en el resultado [7], puede verse que a medida que el orificio central reduce su diámetro, el punto B se aleja del punto A (Figuras 3 y 4) y el valor del factor disminuye de manera consistente.

La hipótesis que podría explicar el valor menor a 3, para el factor de concentración de tensiones en el punto B, es la necesidad de mantener el equilibrio entre las tensiones internas y la carga aplicada, para una sección dada. Luego, al aumentar el valor de las tensiones normales debido al concentrador en "Ra", éstas deberán disminuir en otros puntos, para mantener el equilibrio indicado. Esta teoría se sustenta en que se han obtenido valores iguales a 3 cuando el ancho de la placa se mantuvo constante, e igual a "ha", en todo su largo.

A modo de conclusión se puede decir que, para casos como el presentado aquí, el efecto de concentradores geométricos múltiples en una misma sección, no produce un incremento en el coeficiente de concentración de las magnitudes indicadas por diversos autores [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Por lo contrario, para determinadas relaciones geométricas se observa una disminución notable. No es criterioso asumir conclusiones generalizadas, es necesario realizar, para cada diseño, la determinación de la sección neta mínima resistente que genera un incremento acelerado del coeficiente de concentración u obtener la relación geométrica que vincule la cercanía entre los puntos de análisis.

#### Referencias

- [1] Gabriel M. Dasso, Ricardo M. Amé, Daniel H. Lezama, "Nuevos aportes al análisis de las tensiones localizadas producidas por discontinuidades geométricas combinadas. Una aplicación del análisis de tensiones por elementos finitos", *Iº Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica*, Bahía Blanca, Argentina, 1 al 3 de octubre 2008.
- [2] A. Tjernberg, "Load distribution and pitch errors in a spline coupling", *Materials & Design*, Vol. 22, Issue 4, 2001.

- [3] H. Medekshas, V. Balina, “Assessment of low cycle fatigue strength of notched components”, *Materials & Design*, Volume 27, Issue 2, 132-140, 2006.
- [4] Ricardo M. Amé, Gabriel M. Dasso, Daniel H. Lezama, “Tensiones localizadas producidas por discontinuidades geométricas combinadas”, Secretaría de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina, 2010.
- [5] Gabriel M. Dasso, Ricardo M. Amé, Daniel H. Lezama, “Determinación de las tensiones localizadas de Von Mises producidas por discontinuidades geométricas combinadas en estados complejos de tensión”, *IIº Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica*, San Juan, Argentina, 16-19 noviembre de 2010.
- [6] Pilkey, Walter D., Pilkey, Deborah F., *Peterson's Stress Concentration Factors*, John Wiley & Sons, 2008.
- [7] Peñaranda Carrillo, M., Pedroza Rojas, J.B., Méndez Orellana, J.I., “Determinación del factor teórico de concentración de esfuerzo de una placa infinita con doble agujero”, 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco, Perú, 23-25 de octubre de 2007.
- [8] R. M. Phelan. *Fundamentals of Mechanical Design*, Mc.Graw-Hill Company Inc., 1962.
- [9] C. Lipson; R. C. Juvinall, *Handbook of Stress and Strength . Design and material applications*, 1º edición, Editorial The Macmillan Company, EEUU, 1963.
- [10] R. Cazaud, *La fatiga de los metales*, España, Editorial Aguilar, 1957.
- [11] J. E. Shigley. *El Proyecto en Ingeniería Mecánica*, Ediciones del Castillo, España, 1965.
- [12] V. M. Faires. *Diseño de Elementos de Máquinas*, Editorial Montaner y Simon S.A., España, 1970.
- [13] J.E.Shigley; L. D. Mitchell. *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Mc. Graw Hill, México, 1983.
- [14] A. D. Deutschman; W. J. Michels; C. F. Wilson. *Diseño de máquinas, Teoría y práctica*, Sección 3, Editorial CECSA, México, 1985.