

# TENSIONES LOCALIZADAS PRODUCIDAS POR DISCONTINUIDADES GEOMÉTRICAS COMBINADAS\*

Ricardo Mario Amé, Gabriel María Dasso, Daniel Hernán Lezama  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Tensiones localizadas producidas por discontinuidades geométricas combinadas, Amé, Dasso, Lezama. Recibido 25/8/2016; Aceptado: 12/10/2016

## 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.

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.

El análisis que presenta este artículo se limita a un cuerpo con discontinuidades geométricas de dimensiones macroscópicas, es decir, suficientemente grandes como para evitar la aplicación de otras teorías de análisis de tensiones.

## Palabras clave:

FEA (Finite Element Analysis) - Concentración de tensiones - Elementos de máquinas

## Abstract

*Mechanical components, especially in machines and metal structures, are designed in several forms including section changes, holes and multiple geometric discontinuities that produce high localized stress.*

*Occasionally, the overlap of two or more discontinuities occurs in the same part or in very close parts of a piece, making it difficult to determine the value of the localized stress.*

*Stress calculation software based on finite elements is applied to obtain the distribution of localized stress in a specific piece with combined geo-*

*metric discontinuities and exposed to axial load.*

*Graphs elaborated for practical purposes of the mechanical design are prepared.*

*The analysis presented in this article is limited to bodies with macroscopic dimension geometric discontinuities, large enough to avoid the application of other stress analysis theory.*

## Keywords:

FEA (Finite Element Analysis) - Stress - Machine elements

\*Una versión preliminar de este trabajo fue presentado en CIBIM 2010 (ver actas).

## Concentradores de tensión

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.

Si bien existen otros concentradores vinculados con las características del material y su obtención, no son contempladas en estos estudios.

La consideración de su incidencia en la distribución de tensiones es imprescindible, especialmente en los elementos sometidos a cargas que produzcan tensiones variables.

El propósito es aportar al conocimiento del modo en que varían las tensiones en aquellos cuerpos que, por necesidades del diseño, se conforman con discontinuidades geométricas combinadas y proponer un criterio a aplicar. Es muy escasa o precaria la información que cuantifica el factor de la 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.

## 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 con un orificio circular, como se muestra en la Figura 1.

Si bien no representa una pieza mecánica específica, es útil a los fines del estudio que se pretende.

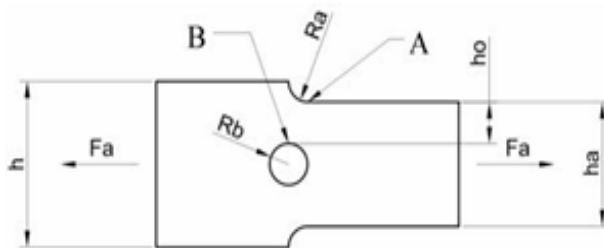


Figura 1: objeto de estudio

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

La carga aplicada es axial, constante y centrada en cada una de las secciones extremas (aunque luego se considerará distribuida a los fines de la aplicación del software).

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

La carga aplicada es  $Fa=20.000\text{ N}$ , generando la

tensión de 200 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.

Se utiliza un software de análisis de tensiones por elementos finitos que ha sido previamente validado por comparación con el gráfico "Chart. 3.1" para las relaciones  $h/ha=2$  y  $Ra/ha=0,1$ . Se obtuvieron las siguientes diferencias: -4,6%, -2,6% para  $Ra/ha=0,2$  y -3,5% para  $Ra/ha=0,3$ , valores de discrepancia (en menos) que se aceptan como poco significativos.

Con el fin de disminuir el tiempo de procesamiento, se trabaja con la mitad superior de la pieza (Figura 1) aprovechando la simetría referida a su eje longitudinal, tal como se muestra en la Figura 2.

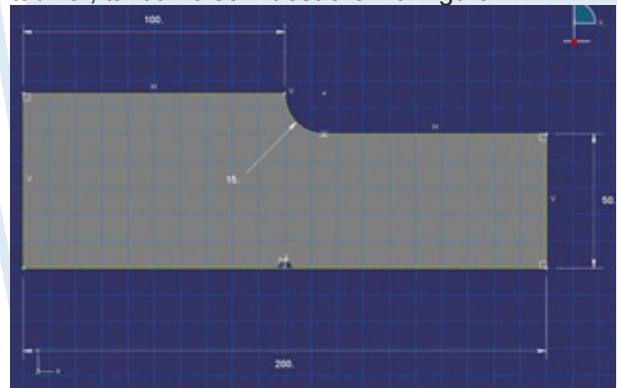


Figura 2: mitad superior simétrica de la pieza plana objeto de estudio

Se determinó el valor de la tensión en el punto A, en el final del radio de empalme, y en el punto B, en la línea del eje transversal del agujero (Figura 1) para distintas dimensiones del agujero central, manteniendo constante el resto de las magnitudes, es decir se obtuvieron resultados variando la relación  $Rb/Ra$ , con  $Ra$  constante.

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

$$K_t = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{rem}}$$

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:

$$\sigma_{rem} = \frac{Fa}{t \cdot ha} = 200\text{MPa}$$

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para el factor teórico de concentración de tensiones

$KtA$  en el punto A, y en la Tabla 2 los correspondientes al del punto B.

Los resultados se obtuvieron con el diámetro de la perforación variable y con  $Ra = 15\text{mm}$  constantes.

Tabla 1: valores del coeficiente teórico de concentración de tensiones en el punto A con distintas magnitudes de  $Rb$

Rb	Rb/Ra	$\sigma_A$	KtA
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 en el punto B con distintas magnitudes de  $Rb$

Rb	Rb/Ra	$\sigma_B$	KtB
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

La Figura 3 muestra el gráfico de la variación del coeficiente de concentración teórico en el punto A, en función de la relación  $Rb/Ra$  variable, a partir de los datos de la Tabla 1.

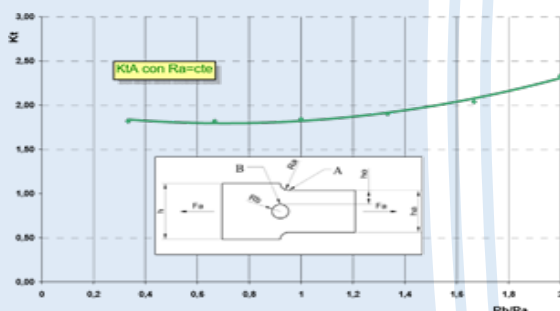


Figura 3: variación del factor teórico de concentración de tensiones para el punto A

Del mismo modo, en la Figura 4, con los datos de la Tabla 2, el gráfico muestra la variación del coeficiente de concentración teórico en el punto B, en función de la relación  $Rb/Ra$  variable.

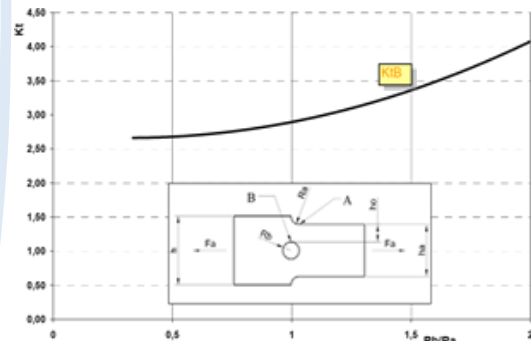


Figura 4: variación del factor teórico de concentración de tensiones para el punto B

Para la relación  $Ra/ha=15/100=0,15$  y  $h/ha=130/100=1,3$ , el valor del factor de concentración de tensiones  $Kt$  que se obtiene de la "Chart. 3.1" es 2. Este valor es el que corresponde a la relación  $Rb/Ra=1,5$  del gráfico de la figura 3 y se 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" existen valores de  $Kt$  por debajo de 2, a medida que el orificio central se hace más pequeño, y valores mayores, a medida que crece pues quita sección neta resistente.

En el gráfico de la Figura 4, se observa que para la relación  $Rb/Ra=1,1$  el factor es igual a 3, disminuyendo levemente a medida que el orificio central se reduce, y aumentando cuando se agranda. Esto podría 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. Por otra parte, parece ser que la cercanía o lejanía entre las discontinuidades geométricas tiene algún grado de influencia pues 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 (como se indica en la bibliografía especializada) para una placa con el ancho "ha" constante en todo su largo.

A modo de conclusión, se puede argumentar que, para casos como el presentado aquí, el efecto de

concentradores geométricos múltiples en una misma sección, no produce un incremento alarmante en el coeficiente de concentración de las magnitudes. Por lo contrario, para determinadas relaciones geométricas se observa una disminución notable. Tampoco parece responder a una función o expresión algebraica de uso común como se plantea en alguna bibliografía. Por ello, 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.

### **Bibliografía sugerida**

Cazaud, R. (1957) *La fatiga de los metales*, España, Editorial Aguilar.

Dasso, Gabriel M; Amé, Ricardo M., Lezama, Daniel H., "Tensiones localizadas producidas por discontinuidades geométricas combinadas", Secretaría de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

Dasso, Gabriel M; Amé, Ricardo M., Lezama, Daniel H. "Determinación de las tensiones localizadas de Von Mises producidas por discontinuidades geométricas combinadas en estados complejos de tensión", II° Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, San Juan, Argentina, 16-19 noviembre de 2010.

Dasso, Gabriel M; Amé, Ricardo M.; Lezama, Daniel H. "Nuevos aportes al análisis de las tensiones localizadas producidas por discontinuidades geométricas combinadas. Una aplicación del análisis de tensiones por elementos finitos", I° Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, Bahía Blanca, Argentina, 1 al 3 de octubre 2008.

Deutschman; A. D.; Michels, W. J. ; C. F. Wilson. (1985) *Diseño de máquinas, Teoría y práctica*, Sección 3, Editorial CECSA, México.

Faires, V. M. (1970) *Diseño de Elementos de Máquinas*, Editorial Montaner y Simon S.A., España.

J.E.Shigley; L. D. Mitchell. *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Mc. Graw Hill, México.

Lipson, C.; Juvinall, R. C. (1963). *Handbook of Stress and Strenght* . Design and material applications, 1° edición, Editorial The Macmillan Company, EEUU.

Medekshas, H.; Balina, V. (2006) "Assessment of low cycle fatigue strength of notched components", *Materials & Design*, Volume 27, Issue 2, 132-140.

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", 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco, Perú, 23-25 de octubre de 2007.

Phelan, R. M. *Fundamentals of Mechanical Design*, Mc.Graw-Hill Company Inc. (1962).

Pilkey, Walter D., Pilkey, Deborah F., *Peterson's Stress Concentration Factors*, John Wiley & Sons, 2008.

Shigley. J. E. (1965). *El Proyecto en Ingeniería Mecánica*, Ediciones del Castillo, España.

### **Los autores**

#### **Ricardo Mario Amé**

Doctor en Gestión de Empresas de la Universidad Politécnica de Valencia, España.

Ingeniero Mecánico de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

Profesor Titular en la Cátedra de Elementos de Máquinas en la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Facultad de Ingeniería (FI-UNLZ).

E-mail: ingricardoame@gmail.com.

#### **Gabriel María Dasso**

Ingeniero Electromecánico, orientación Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Buenos Aires (FI -UBA).

Profesor Titular de Mecánica y Mecanismos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora (FI – UNLZ).

Profesor Asociado en Mecanismos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Buenos Aires (FI -UBA).

E-mail: gabriel.dasso@gmail.com

#### **Daniel Hernán Lezama**

Ingeniero Industrial de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Facultad de Ingeniería (FI-UNLZ).

Ayudante de Primera en la Cátedra de Elementos de Máquinas en la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Facultad de Ingeniería (FI-UNLZ).

E-mail: danielhlezama@gmail.com