

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Departamento de Ingeniería Mecánica**

Profesor Patrocinante:  
**Sr. Emilio Dufeu D.**

Profesor Co-patrocinante:  
**Sr. Alfredo Devenin G.**

# **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA EN EL DISEÑO DE EJES.**

**Rodrigo Alexis Medina Araujo**

**Informe de Memoria de Título**

**Noviembre 2002**

## ÍNDICE

<b>SUMARIO .....</b>	<b>4</b>
<b>NOMENCLATURA .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPITULO 1 GENERALIDADES RELACIONADAS CON EL ESTUDIO .....</b>	<b>8</b>
1.1 FALLA POR FATIGA .....	8
1.1.1 DESCRIPCIÓN .....	8
1.1.2 LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA .....	8
1.1.3 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A LA FATIGA DE UNA PIEZA MECÁNICA .....	10
1.2 FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS .....	12
1.2.1 FACTOR DE CONCENTRACIÓN DEL ESFUERZO TEÓRICO .....	12
1.2.2 FACTOR DE CONCENTRACIÓN DEL ESFUERZO EN FATIGA .....	16
1.2.3 APLICABILIDAD DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO .....	16
<b>CAPITULO 2 CAMBIO DE SECCIÓN EN EJES: DEFINICIONES E INVESTIGACIONES ASOCIADAS.....</b>	<b>17</b>
2.1 CAMBIO DE SECCIÓN EN EJES: USOS Y RESTRICCIONES .....	17
2.2 CAMBIO DE SECCIÓN CON RADIO DE ENLACE SIMPLE. CUANTIFICACIÓN DE $K_T$ .....	19
2.2.1 ESFUERZOS NOMINALES UTILIZADOS EN LA DEFINICIÓN DE $k_t$ .....	22
2.2.1.1 Esfuerzos nominales de Tracción pura: .....	22
2.2.1.2 Esfuerzos nominales de Flexión pura: .....	23
2.2.1.3 Esfuerzos nominales de Torsión pura: .....	25
2.3 REDUCTORES DE ESFUERZO .....	27
2.3.1 GEOMETRÍAS PROPUESTAS EN LITERATURA .....	27
2.3.1.1 Reductor A .....	27
2.3.1.2 Reductor B .....	27
2.3.1.3 Reductor C .....	28
2.3.1.4 Reductor D .....	29
2.3.1.5 Reductor E .....	31
2.3.2 REDUCTORES DE ESFUERZO NORMALIZADOS: NORMA DIN 509 .....	32
<b>CAPITULO 3 MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE REDUCTORES.....</b>	<b>35</b>
3.1 PRESENTACIÓN GENERAL .....	35
3.2 DETERMINACIÓN DEL LARGO DE LAS SECCIONES DEL EJE .....	35
3.2.1 OBJETIVO Y PERTINENCIA .....	35
3.2.2 METODOLOGÍA .....	37
3.2.2.1 Tracción .....	37
3.2.2.2 Flexión .....	39
3.2.2.3 Torsión .....	40
3.2.2.4 Características del modelo .....	41
3.2.3 Resultados y Análisis .....	44
3.2.3.1 Tracción .....	44
3.2.3.2 Flexión .....	47
3.2.3.3 Torsión .....	52
3.2.4 Conclusión .....	54
3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MODELOS Y ANÁLISIS .....	55
3.3.1 MODELACIÓN .....	59
3.3.1.1 Hipótesis .....	59
3.3.1.2 Simetrías .....	59
3.3.1.3 Condiciones de Borde .....	60

3.3.1.4	Confiabilidad de la solución. Análisis de error.....	60
3.4	RESULTADOS. ....	85
3.4.1	<i>REDUCTOR C</i> .....	85
3.4.2	<i>REDUCTOR D</i> . ....	99
<b>CAPITULO 4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>110</b>
4.1	CONCLUSIONES.....	110
4.2	RECOMENDACIONES. ....	111
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>.....</b>	<b>112</b>

# SUMARIO

Este estudio aborda la problemática de la disminución de la resistencia a la fatiga en ejes, debido a concentradores de esfuerzo asociados a la geometría de éstos. En particular, el trabajo está dirigido hacia los resaltes u hombros presentes en ejes y en su efecto intensificador de esfuerzo. El objetivo es caracterizar y comparar diversas configuraciones de reductores de esfuerzo en ejes con cambio de sección, mediante el Método de los Elementos Finitos. De la literatura revisada, se seleccionan dos tipos de reductores de esfuerzo, el primero de ellos: "*Chañln cóncavo de radio uniforme escondido en profundidad*" (Tipo C) y el otro "*Reductor de esfuerzos mediante garganta de alivio*" (Tipo D). Para cada uno de ellos se construye un grupo representativo de geometrías en las que se alteran variables de dimensión abarcando un gran número de configuraciones posibles. Así, el reductor Tipo C es aplicado en ejes de relación de diámetros  $D/d=2$ , cambiando el radio y profundidad del chaflán; mientras que en el reductor Tipo D se aplica a ejes con  $D/d=1.2$  y  $r/d=0.1$  variando el radio de la garganta y la distancia desde el resalte hasta la garganta. Ambos tipos de reductores son analizados ante cargas de tracción, flexión y torsión.

Para lograr mayor confiabilidad de las soluciones obtenidas se realizan estudios tales como: determinación de los largos de cada porción de eje para que la zona de concentración no se vea afectada por el "efecto frontera", y un análisis de convergencia de la solución para cada tipo de reductor. Ambos análisis sugieren el tamaño de las mallas de elementos finitos a usar en cada zona de las formas analizadas.

Los resultados son representados mediante curvas características para cada reductor y para cada condición de carga, en donde se muestra la influencia de parámetros adimensionales que representan las diversas geometrías, sobre el factor de concentración de esfuerzos teórico  $k_t$  resultante en la discontinuidad.

Se determinaron las posiciones críticas donde se ubican los esfuerzos máximos en cada tipo de reductor:  $21^\circ$  en el Tipo C y  $11^\circ$  en el Tipo D medidos desde el borde adjunto al diámetro menor, manteniéndose en cada condición de carga.

Se concluye, que el parámetro "longitud de enlace" que determina la profundidad del chaflán en el reductor Tipo C, no influye determinantemente sobre el esfuerzo máximo obtenido, excepto para el caso en el que se prueba la menor profundidad de inserción del chaflán ( $l/r=-0.8$ ), lo que hace aumentar los esfuerzos. El incremento del radio de curvatura del chaflán cóncavo, expresado a través del parámetro  $r/d$ , incide en una disminución de la concentración de los esfuerzos  $k_t$ .

Cuando la altura del hombro es suficientemente amplia para utilizar el reductor de esfuerzos tipo C, resulta conveniente elegirlo por sobre la aplicación de un radio de acuerdo simple que no permita un apoyo axial adecuado.

Para el caso del reductor de esfuerzo Tipo D, se concluye que la concentración del esfuerzo, expresado en el factor  $k_t$ , se torna dependiente de la ubicación de la garganta de alivio respecto al hombro del eje, cuando los radios de garganta son mayores. Esta dependencia es tal que a mayor distancia del hombro, mayor es la concentración de esfuerzos observada en el radio de enlace. Por otro lado, se determinó que conviene utilizar radios de garganta mayores ya que inciden en una disminución de la intensificación del esfuerzo en el acuerdo, limitados por el efecto intensificador de esfuerzo generado en la garganta.

Al comparar el desempeño de los  $k_t$  logrados con el reductor Tipo D respecto al uso de un radio de acuerdo simple, se concluye que es recomendable utilizar la garganta de alivio ya que disminuyen los esfuerzos máximos generados sobre todo en los casos de tracción y flexión.

