**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA**

Profesor Patrocinante:
Dr. Ing. Emilio Dufeu

Ingeniero Supervisor:
Ing. Cristian Canales

**Análisis de Estrategias de Modelación del Retorno Elástico por Elementos
Finitos para el Doblado de Placas Metálicas**

Simón Andrés Benavente Contreras

Informe de Memoria de Título
para optar al Título de

Ingeniero Civil Mecánico

Enero - 2017

RESUMEN

La creciente demanda de productos más livianos y duraderos por parte de muchas industrias, como por ejemplo, la industria automovilística, ha incentivado el uso de aleaciones de diferentes metales. En respuesta a ello, las aleaciones de aluminio y los aceros de alta resistencia surgen como una opción recurrente y atractiva gracias a sus propiedades mecánicas. El uso de estos materiales se ha visto limitado debido a las imperfecciones geométricas que surgen en estos, debido al retorno elástico (positivo y/o negativo), cuando son formados mediante embutido o estampado a temperatura ambiente. Para compensar tales falencias, se han propuesto algunas alternativas, tales como, el uso de compensación geométrica de las herramientas de formado o aumento de la temperatura de trabajo durante el proceso de formado. En ambos casos, el uso de simulaciones numéricas para predecir el retorno elástico ha sido clave para determinar los parámetros de operación en los procesos de formado; a pesar de los extensos esfuerzos realizados por la comunidad de mecánica computacional la predicción precisa del retorno elástico en este tipo de materiales sigue teniendo algunos desafíos.

El objetivo de este trabajo es analizar estrategias de modelación del retorno elástico por elementos finitos para el proceso de doblado de placas metálicas. Por ello, se utiliza como caso de estudio el proceso de doblado de placas en V, en donde se analiza de forma numérica el efecto del retorno elástico.

Para este estudio se compararon las predicciones numéricas con 9 ensayos experimentales que se encuentran en la literatura [Huang and Leu, 1998], en donde se utiliza 3 materiales distintos. En los ensayos experimentales se estudio el retorno elástico variando el radio del punzón (R_p), el espesor de la placa metálica (t), la condición de lubricación y el material. Las simulaciones numéricas se realizan a partir de los parámetros asociados a cada uno de los 9 casos en cuestión. Se utilizan dos estrategias numéricas distintas (hipotesis 2D y 3D). Para la hipótesis 2D se utiliza elementos bidimensionales y para la hipótesis 3D se utiliza elementos de placa. Así se muestra la influencia del modelo seleccionado en la simulación, señalando las ventajas de cada uno de estos.

Se detectó potenciales errores en la caracterización del material, ya que los resultados de las curvas características del proceso (fuerza-desplazamiento del punzón) y retorno elástico en los modelos numéricos están lejos de los resultados experimentales, lo cual se atribuye a los parámetros entregados por [Huang and Leu, 1998]. A pesar de no obtener resultados de acuerdo a lo esperado, los modelos numéricos pueden detectar y estimar el fenómeno de retorno elástico. Se calculan las curvas de fuerza versus desplazamiento del punzón que tienen un buen acuerdo cualitativo, pero cuantitativamente se alejan de lo experimental, lo cual refuerza la hipótesis de una mala caracterización de los materiales en estudio.

Índice general

Resumen	I
Índice de figuras	IV
Índice de tablas	VIII
1 Introducción	1
1.1 Marco General	1
1.2 Objetivo General	4
1.3 Objetivos Específicos	4
2 Estado del Arte	5
2.1 Doblado de Placas Metálicas	5
2.2 Doblado en V	5
2.3 Desafíos en la Modelación del Proceso de Doblado	6
2.4 Retorno Elástico	10
2.5 Modelos Analíticos	12
2.5.1 Modelo aplicando la mecánica de solidos propuesto por [Leu and Zhi-Wei, 2016]	12
2.5.2 Modelo propuesto por análisis de regresión múltiple [Narayanasamy and Padmanabhan, 2009]	17
2.5.3 Modelo propuesto por análisis de red neuronal artificial (ANN) [Narayanasamy and Padmanabhan, 2012]	18
2.6 Simulación numérica	20
2.7 Conclusiones preliminares	23
3 Definición del Material y Casos de Estudio	24
3.1 Definición del Material	24
3.2 Casos de Estudio	26
4 Estrategias de simulación del proceso de doblado	27
4.1 Modelo Geométrico	27
4.2 Condiciones de Borde	28
4.2.1 Condiciones de Borde Esenciales	28
4.2.2 Condiciones de Borde Naturales	29
4.3 Discretización	30
4.3.1 Tipo de elementos	30
4.3.2 Convergencia de Malla	31
4.3.3 Discretización Utilizada en las Simulaciones	38
4.4 Simulación	40

4.4.1	Descripción del contacto	40
4.4.2	Consideraciones en los distintos casos	41
5	Resultados	42
5.1	Retorno Elástico	42
5.1.1	Análisis de Espesor	45
5.1.2	Efectos 3D	46
5.1.3	Comparación de distribución de esfuerzos en el espesor para distintas estrategias	48
5.1.4	Influencia de la Lubricación	51
5.1.5	Costo Computacional	51
6	Conclusiones	52
6.1	Discusión	52
6.2	Conclusión	53
6.3	Perspectivas	53
	Referencias	56
	ANEXOS	57
A	Distribución de esfuerzos en el espesor	A.1
B	Curva de fuerza versus desplazamiento del punzón	B.1
C	Variación de espesor en el ancho	C.1
D	Curvas de distribución de esfuerzos por capas	D.1
E	Comparación de distribución de esfuerzos en el espesor de las estrategias de simulación E.1	E.1