

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**SIMULACION POR ELEMENTO FINITO DEL
COMPORTAMIENTO PLASTICO DE UN ACERO
DE BAJO CARBONO GALVANIZADO.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES**

PRESENTA

ADRIANA SALAS ZAMARRIPA

CIUDAD UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DEL 2001

4951
S 34
2001
FIME
.M2
Z5853
TM

SIMULACION POR ELEMENTO FINITO DEL COMPORTAMIENTO PLASTICO DE UN ACERO DE BAJO CARBONO GALVANIZADO.

A S Z



1020146061

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



SIMULACION POR ELEMENTO FINITO DEL
COMPORTAMIENTO PLASTICO DE UN ACERO
DE BAJO CARBONO GALVANIZADO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

PRESENTA

ADRIANA SALAS ZAMARRIPA

DAD UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DEL 2001

0147-30860

TM
Z5853
.M2
FINE
2001
S34

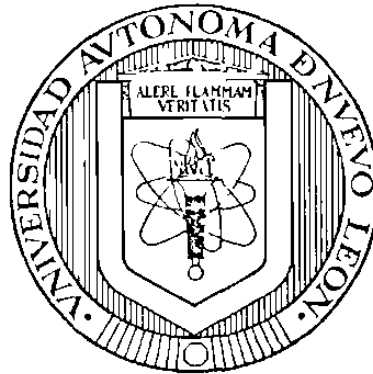


FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**SIMULACION POR ELEMENTO FINITO DEL
COMPORTAMIENTO PLASTICO DE UN ACERO DE BAJO
CARBONO GALVANIZADO.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
MATERIALES**

PRESENTA

ADRIANA SALAS ZAMARRIPA

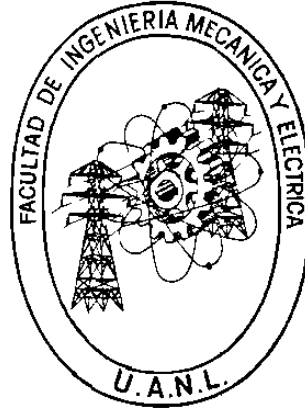
CIUDAD UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DEL 2001

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**SIMULACION POR ELEMENTO FINITO DEL
COMPORTAMIENTO PLASTICO DE UN ACERO DE BAJO
CARBONO GALVANIZADO.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
MATERIALES**

PRESENTA

ADRIANA SALAS ZAMARRIPA

CIUDAD UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DEL 2001

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

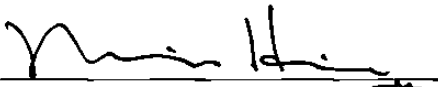
Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis **“Simulación por elemento finito del comportamiento plástico de un acero de bajo carbono galvanizado”** realizada por la Ing. Adriana Salas Zamarripa, matrícula 714435 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales.

El Comité de Tesis.




Presidente

Dra. Martha Patricia Guerrero Mata.




Secretario

Dr. Moisés Hinojosa Rivera.



Vocal

Dr. Carlos Javier Lizcano Zulaica



Vo. Bo.

M.C. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Postgrado.

San Nicolás de los Garza, N. L.

Septiembre 2001

DEDICATORIA

A Dios

Por cada una de las bendiciones que me ha dado en el transcurso de mi vida.

A mi esposo Omar García Rincón

Por ser la bendición más grande y por todo su amor.

A mis padres Ezequiel y Martha

Quienes con su educación y amor me han hecho lo que soy.

A mis hermanos Rocio Lilian, Ezequiel y Daniel Alejandro

Gracias por darme su amor y estar conmigo en las buenas y en las malas.

A mi familia política

Por su apoyo y cariño.

A mi gran amigo Fernando Chapa (†)

Aunque no estés físicamente conmigo, te sigo llevando en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo brindado para la realización de mis estudios.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, por ser mi alma mater.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, en donde he pasado los mejores años de mi vida. Un agradecimiento especial a nuestro Director M. C. Cástulo Vela Villarreal por todo el apoyo que me ha brindado.

Al Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales por darme la oportunidad de realizar mi maestría y por todas las experiencias que me han hecho crecer como persona y profesional.

Al PAICYT y SIRREYES por el soporte financiero para este proyecto.

A la empresa GALVAK por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A la Dra. Martha Guerrero Mata por creer en mí para la elaboración de esta investigación y sobre todo por ser más que un asesor, una gran amiga.

Al Dr. Moisés Hinojosa y al Dr. Carlos Lizcano por su valiosa colaboración para este trabajo.

Al Dr. Rafael Colas por creer en mí en todo momento y por su amistad, y por supuesto a sus valiosos consejos para esta tesis.

A cada uno de los profesores que componen al PDIM, gracias por todo.

Al personal administrativo del PDIM, por el apoyo brindado.

Al Ing. Jesús Moreno y su hermosa familia, por dejarme ser parte de ustedes, por creer en mí y apoyarme en todo momento. GRACIAS.

A todos mis compañeros y amigos del PDIM, no cabe duda he hecho amistades perdurables.

A mis abuelos, tíos y primos que siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas.

A mis amigos Jakeline, Nancy, Frank, Lupita, Roberto, Hiram, Homero, Verónica y Sergio, por siempre echarme porras.

A mis tres angelitos, Roberto, Abraham y Valeria.

A Jose y Karina por sus palabras de aliento.

A cada persona que me ha ayudado y apoyado en cada paso en mi vida, gracias.

Y recuerden, jamás renuncien a sus sueños.....

INDICE

Dedicatoria.		I
Agradecimientos.		II
Resumen.		VI
Capitulo 1.	Introducción.	1
Capitulo 2.	Aceros de bajo carbono.	3
	2.1 Aceros al carbono	3
	2.2 Aceros de bajo carbono	6
Capitulo 3.	Galvanización por inmersión en caliente.	9
	3.1 Introducción.	9
	3.2 Proceso de galvanización por inmersión en caliente.	12
	3.4 Fundamentos de la galvanización en caliente.	21
	3.5 Propiedades mecánicas.	25
	3.6. Capacidad de formado.	26
	3.7 Capacidad de soldado.	26
	3.8 Resistencia a la corrosión.	28
Capitulo 4.	Simulación por el método del elemento finito.	30
	4.1 Metodos numericos.	30
	4.1.1 Aproximaciones y errores.	31
	4.1.2 Modelos matemáticos.	32
	4.1.3 Ecuaciones diferenciales.	32
	4.2 Metodo de diferencias finitas.	35
	4.3 Metodo del elemento finito.	36
	4.3.1 Funcionamiento del método del elemento finito.	37
	4.3.2 Aproximación directa.	40
	4.3.2.1 Definir elementos y sus propiedades.	41
	4.3.2.2 Elementos simples de mecanismos estructurales.	69
	4.3.2.3 Ensamblajes de las partes.	44
	4.3.2.4 Introduccion de las condiciones frontera.	45
	4.3.3 Aproximación matematica del elemento finito.	48
	4.3.3.1 Problemas continuos y sus soluciones.	48
	4.3.3.2 La aproximacion variacional.	52
	4.3.3.3 Metodo de Ritz.	53
	4.3.3.4 Método de residuos ponderados.	54
Capitulo 5.	Deformación plastica.	55
	5.1 Introduccion.	55
	5.2 Deformacion plastica en monocristales.	56
	5.2.1 Deformacion por deslizamiento.	56
	5.2.2 Deformacion por maclaje.	59
	5.3 Deformación plastica en materiales policristalinos.	62

	5.4 Frontera de grano y deformación.	65
	5.5 Endurecimiento por deformación..	68
	5.6 Estimación de la deformación equivalente en granos.	68
	5.7 Plasticidad.	69
	5.7.1 Esfuerzo, deformación y velocidad de deformación.	69
	5.7.2 Criterio de cedencia.	72
	5.7.3 Relaciones plásticas de esfuerzo-deformación.	74
	5.7.4 Viscoplasticidad.	76
	5.8 Simulación por elemento finito del comportamiento plástico.	78
Capítulo 6.	Desarrollo experimental.	80
	6.1 Introducción.	80
	6.2 Selección del material.	80
	6.3 Preparación de muestras.	81
	6.4 Ensayo de tensión.	82
	6.5 Análisis de imagen.	84
	6.5.1 Medicion de mallado.	84
	6.5.2 Medición de tamaño de grano.	90
	6.6 Simulación por elemento finito.	92
	6.6.1 Conceptos básicos de ABAQUS/CAE ^{MR} .	92
	6.6.1.1 Módulo Parte (Part).	94
	6.6.1.2 Módulo Propiedades (Property).	97
	6.6.1.3 Módulo Ensamble (Assembly).	97
	6.6.1.4 Módulo Paso (Step).	97
	6.6.1.5 Módulo Interacción (Interaction).	98
	6.6.1.6 Módulo Carga (Load).	98
	6.6.1.7 Módulo Malla (Mesh).	99
	6.6.1.8 Módulo Trabajo (Job).	100
	6.6.1.9 Módulo Visualización (Visualization).	100
	6.6.1.10 Módulo Bosquejo (Sketch).	100
Capítulo 7.	Resultados y Discusión.	101
	7.1 Introducción	101
	7.2 Caracterización del material.	101
	7.3 Propiedades mecánicas.	103
	7.4 Estimación de la deformación.	105
	7.5 Simulación por elemento finito mediante ABAQUS CAE ^{MR}	111
	7.5.1 Modelo MALLA.	112
	7.5.2 Modelo GRANOS.	119
Capitulo 8.	Conclusiones y recomendaciones.	125
Lista de figuras.		127
Lista de tablas.		130
Referencias		
ANEXO 1.	Ensayos de tensión.	
ANEXO 2.	Muestras de ensayo de tensión.	
Resumen autobiográfico.		

RESUMEN

Algunos materiales pueden ser deformados plásticamente en gran extensión sin sufrir fractura, esta es una de las propiedades más útiles para la ingeniería. El uso del método de elemento finito (FEM) para el estudio del comportamiento plástico de metales ha sido una práctica común en los últimos años, debido a que ha probado ser un excelente medio de evaluar parámetros de proceso, eliminando la técnica tradicional de prueba y error. Para este trabajo se empleó un paquete comercial (ABAQUS CAE^{MR}), para crear un modelo bidimensional que simule las pruebas de tensión uniaxial de un acero de bajo carbono galvanizado. El objetivo de este trabajo fue evaluar por la mencionada técnica el comportamiento plástico de un acero de bajo carbono galvanizado, en los campos de deformación y esfuerzo. Se realizaron dos modelos, uno de acuerdo a una malla de 2 mm x 2 mm, la cual fue dibujada en una de las caras de las muestras, y el otro de acuerdo a la forma, tamaño y distribución de los granos del recubrimiento de zinc. Las probetas fueron deformadas a temperatura ambiente y a velocidad de cabezal constante, deteniendo la deformación a diferentes tiempos. Mediante el análisis de imágenes se registraron las mediciones de deformación antes y después de cada paro de tiempo, para así compararlos con la simulación computacional, además de validar el modelo numérico. En el campo de deformación, el modelo que sigue el tamaño y forma de los granos fue el que presentó una mejor aproximación de acuerdo a los datos experimentales. El esfuerzo, de acuerdo a las probetas ensayadas hasta la ruptura presenta una buena aproximación, en cuanto a las pruebas interrumpidas existen diferencias significativas. Los resultados de este estudio pueden extenderse a otras condiciones de prueba, además el modelo puede ser utilizado para obtener las ecuaciones constitutivas del material.