

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



"INFLUENCIA DEL Fe + Si Y DEL TRABAJADO EN  
CALIENTE PREVIO EN UNA ALEACION DE ALUMINIO  
1350 DURANTE SU TREFILADO"

POR

ING. JESUS OMAR GONZALEZ GONZALEZ

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA  
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. JULIO 2004

20  
TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
2004  
.G649  
"INFLUENCIA DEL Fe + Si Y DEL TRABAJADO EN  
CALIBRE PREVIAMENTE ALLEVIADO  
CALIBRE PREVIAMENTE ALLEVIADO"  
1350 DURANTE SU TRABAJO

J.O.G.G.  
J.O.G.G.  
J.O.G.G.

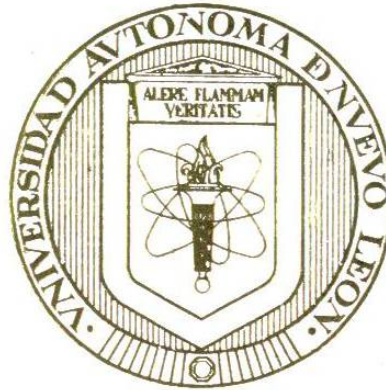


1020150029

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



"INFLUENCIA DEL Fe + Si Y DEL TRABAJADO EN  
CALIENTE PREVIO EN UNA ALEACION DE ALUMINIO  
1350 DURANTE SU TREFILADO"

POR

ING. JESUS OMAR GONZALEZ GONZALEZ

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA  
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. JULIO 2004

989627

TM  
Z 5853  
.M2  
FINE  
2004  
.E649



FONDO  
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



“INFLUENCIA DEL Fe + Si Y DEL TRABAJADO EN  
CALIENTE PREVIO EN UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO  
1350 DURANTE SU TREFILADO”

POR

ING. JESÚS OMAR GONZÁLEZ GONZÁLEZ.

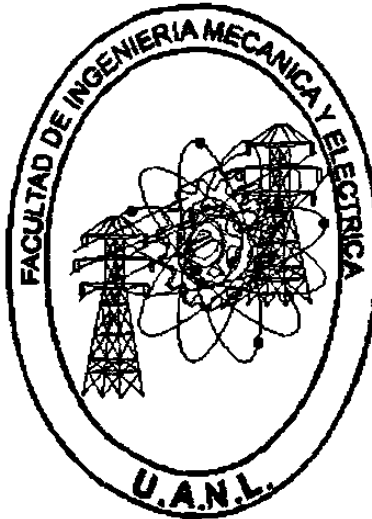
TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN  
MATERIALES.

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L.

JULIO 2004

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON.  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**“INFLUENCIA DEL Fe + Si Y DEL TRABAJADO EN  
CALIENTE PREVIO EN UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO  
1350 DURANTE SU TREFILADO”**

**POR**

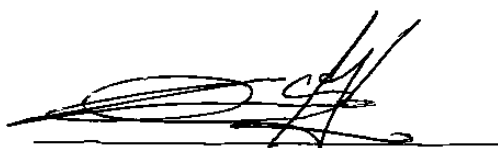
**ING. JESÚS OMAR GONZÁLEZ GONZÁLEZ.**

**TESIS**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES.**

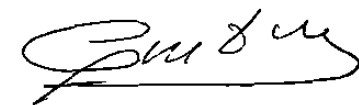
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.  
División de estudios de Posgrado.

Los miembros del comité de Tesis recomendamos que la tesis “ Influencia del Fe + Si y del trabajado en caliente previo en una aleación de aluminio 1350 durante su trefilado” realizada por el Ing. Jesús Omar González González sea aceptada como opción para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales.



Asesor

Dr. José Luis Cavazos García.



Coasesor

M.C. Luis Fernando González Gutiérrez



Coasesor

M.C/ Cesar Dimas Acevedo



Vo.Bo.

Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez



# Dedicatoria.

Principalmente agradezco a Dios nuestro señor, por haberme guiado por el camino correcto permitiéndome alcanzar una meta mas en mi vida profesional.

A mi esposa Irma Yesenia, agradezco profundamente por apoyarme incondicionalmente tanto en la vida profesional como en la vida personal.

A mi Hijo Víctor Omar quien con una simple sonrisa me ha dado fuerzas para seguir en el camino de la superación.

A mi abuelita Benita (QEPD) quien con simplemente decirme “Grande, Grande mi hijito” me motivó para seguir adelante en mis estudios.

A mis padres, a quienes les debo la vida, así como todo el apoyo y amor que me han brindado. Les agradezco todas sus enseñanzas, las cuales han forjado en mí un carácter humilde y lleno de valores esenciales para alcanzar el éxito en la vida.

A mis hermanos Juan, Jaime, Joél, Lorena y Luis Gabriel así como mis cuñadas Norma y Lupita, porque han sido motivadores constantes y personas de admiración. Les agradezco por el apoyo que me han brindado en todo momento, así como todos los valores que me han inculcado y ayudado a crecer como persona y como profesionista.

A mis suegros Don Rafael y Doña Isidra por apoyarme incondicionalmente.

A mi padrino Castulo Vela Villareal porque me ha apoyado y motivado para culminar mis estudios profesionales, agradezco sus consejos y el estar al pendiente de mí.

# ÍNDICE

Capítulo	Página
<b>Dedicatoria</b>	
<b>Resumen</b>	
<b>1.- Introducción</b> .....	1
1.1 Hipótesis .....	2
1.2 Justificación .....	2
<b>2.- Trefilado</b> .....	3
2.1 Definición de trefilado de alambre .....	3
2.2 Trabajo en frío .....	4
2.3 Coeficiente de endurecimiento por deformación .....	6
2.4 Multiplicación de las dislocaciones .....	8
2.5 Propiedades contra porcentaje de trabajo en frío .....	9
2.5.1 Determinación de las propiedades después de la deformación .....	10
2.5.2 Determinación del trabajo en frío necesario .....	10
2.5.3 Diseño del proceso de deformación .....	11
2.5.4 Maquinabilidad .....	11
2.5.5 Teoría sobre la falla o ruptura .....	11
2.5.6 Teoría del esfuerzo máximo .....	12
2.6 Microestructura de los metales trabajados en frío .....	12
2.7 Características del trabajo en frío .....	13
2.8 Datos de estirado .....	14
2.8.2 Definición de las partes del dado de estirado .....	16

2.8.2.1 Geometría del dado de estirado (Partes principales) ---	16
2.9 Proceso de fabricación del alambre de aluminio -----	17
2.9.1 Colada continua -----	17
2.9.2 Propiedades del alambre hecho por el proceso de laminado en caliente. -----	18
2.10 Proceso de fabricación de alambres de aluminio para conductores eléctricos. -----	20
2.10.1 Descripción del proceso de trefilado -----	20
2.10.2 Características del aluminio -----	21
2.10.3 Lubricantes para estirado de alambres -----	21
2.10.3.1 Lubricante para estirado de alambres de aluminio ----	22
2.10.4 Alambre de aluminio aleación 1350 temple duro -----	22
2.10.5 Alambres de aluminio 1350 temple suave -----	23
2.10.6 Descripción general de una máquina trefiladora -----	23
2.10.7 Partes principales de una trefiladora de alambre -----	24
2.10.8 Pasos a seguir para producir alambres de aluminio -----	25
2.11 Especificaciones del aluminio 1350 para el alambre y alambres en aplicaciones eléctricas. -----	26
2.11.1 Propiedades del Aluminio 1350 -----	26
<b>3.- Procedimiento Experimental -----</b>	<b>29</b>
3.1 Composición química del aluminio del Lote "A" y "B". -----	29
3.2 Propiedades Mecánicas de los alambres del Lote "A" y "B". -----	29
3.3 Microestructura de las muestras. -----	30
3.4 Microestructura de las muestras en Microscopio electrónico de barrido (SEM). -----	31

<b>4.- Resultados y Discusión.</b>	<b>32</b>
4.1 Análisis de la composición química del aluminio del Lote “A” y “B”.---	32
<b>4.2 Análisis de las Propiedades Mecánicas del los alambres del</b>	<b>33</b>
Lote “A” y “B”.	
4.2.1 Análisis de esfuerzo deformación Ingenieril del alambón----	33
4.2.2 Análisis de esfuerzo-deformación comparando el lote	34
“A” Vs el lote “B” en cada diámetro de alambre.	
4.2.3 Análisis de esfuerzo deformación del aluminio de los	36
lotes “A” y “B” trefilado con 4 dados.	
4.2.4 Análisis de esfuerzo-real deformación-real del aluminio	38
de los lotes “A” y “B” trefilado con 4 dados.	
4.2.5 Determinación del modelo matemático que rige el aluminio	39
del lote “A”.	
4.2.6 Obtención del valor de exponente de endurecimiento por	41
deformación “n” y constante de endurecimiento por	
deformación “K” para los lotes “A” y “B”.	
4.2.7 Análisis de dureza superficial en la sección transversal de	44
los alambres del Lote “A” y Lote “B”.	
4.2.8 Determinación de datos y propiedades de los alambres	46
del lote “A” y “B” en cada paso de trefilado.	
4.3 Análisis microestructural de las muestras en Microscopio	50
óptico y electrónico de barrido.	
4.3.1 Análisis microestructural realizado con el microscopio	50
óptico a 66 aumentos.	
4.3.2 Análisis de tamaños de grano e imperfecciones en	52
microscopio óptico del lote “A” y “B” en el alambón de	
9.525 mm de diámetro.	

4.3.3	Análisis de tamaños de grano e imperfecciones en microscopio óptico del lote "A" y "B" en el alambre de 8.43 mm de diámetro.	53
4.3.4	Análisis de tamaños de grano e imperfecciones en microscopio óptico del lote "A" y "B" en el alambre de 7.11 mm de diámetro.	54
4.3.5	Análisis de tamaños de grano e imperfecciones en microscopio óptico del lote "A" y "B" en el alambre de 6.12 mm de diámetro.	55
4.3.6	Análisis de tamaños de grano e imperfecciones en microscopio óptico del lote "A" y "B" en el alambre de 5.19 mm de diámetro.	57
4.3.7	Análisis microestructural de las muestras en Microscopio electrónico de barrido (SEM) para el lote "A" y "B".	58
4.4.-	Especificaciones.	67
4.4.1	Composición química.	67
4.4.2	Morfología del alambión.	67
4.4.3	Microestructura del aluminio.	68
4.4.4	Presencia de precipitado.	68
<b>5.-</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>69</b>
	<b>Referencias</b>	<b>70</b>
	<b>Apéndice I</b>	<b>71</b>
	<b>Apéndice II</b>	<b>75</b>
	<b>Apéndice III</b>	<b>77</b>
	<b>Apéndice IV</b>	<b>87</b>

# Resumen

Para la manufactura de alambres de aluminio se emplea el proceso de trefilado, en este básicamente se utiliza alambres de 3/8 de pulgada de diámetro con ciertas características mecánicas antes del proceso de trefilado de manera que al aplicarle un determinado porcentaje de trabajado en frío obtenga las propiedades finales deseadas.

En este trabajo se analizaron dos lotes de aluminio 1350 los cuales antes del trabajado en frío tenían propiedades mecánicas muy similares, pero al ser sometidos al proceso de trefilado presentaban diferencias en cuanto a incremento de esfuerzo último aún y que el porcentaje de trabajado en frío era el mismo para ambos lotes.

El objetivo de este trabajo es el de determinar las causas por las que aún y que los dos lotes de aluminio entran con propiedades mecánicas muy similares al proceso de trefilado, los alambres al final del trefilado salen con propiedades muy diferentes.

Para lograr llegar al objetivo se realizaron los siguientes estudios:

Análisis químico de los dos lotes, en este se pudieron apreciar diferencias en la composición de ambos lotes básicamente en el contenido de silicio y de hierro.

Se realizó un análisis de las principales propiedades mecánicas en cada paso de trefilado en el cual se pudo corroborar las diferencias en propiedades mecánicas después del proceso de trefilado.

Se realizó un análisis a la microestructura de la sección transversal del alambre en cada paso para los dos lotes, en el cual se pudieron encontrar las principales causas que afectan directamente las propiedades mecánicas del aluminio. Este análisis se realizó en el microscopio óptico y en el microscopio electrónico de barrido.