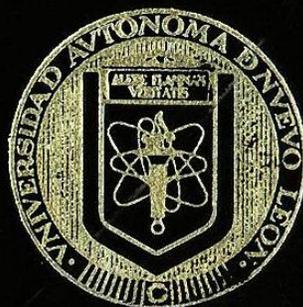


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EFECTO DEL ACABADO SUPERFICIAL EN LA OXIDACION  
EN ALTA TEMPERATURA DE ACEROS INOXIDABLES 316L

TESIS

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

POR

RODRIGO CONTRERAS CARRILLO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. ENERO DE 1996

1996  
1996  
1996  
1996

TIME  
M2  
853

EFFICIO DEL ACABADO SUPERFICIAL EN LA OXIDACION  
R. Contreras

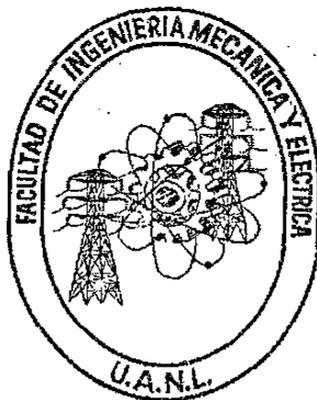


1020112526

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**EFFECTO DEL ACABADO SUPERFICIAL EN LA OXIDACION  
EN ALTA TEMPERATURA DE ACEROS INOXIDABLES 316L**

**TESIS**

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

**P O R**

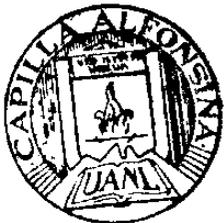
**RODRIGO CONTRERAS CARRILLO**

**SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.**

**ENERO DE 1996**

0117-19560

TM  
25853  
.M2  
FINE  
1996  
C66

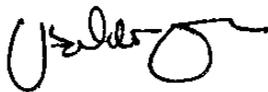


FONDO TESIS

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 "Efecto del acabado superficial en la oxidación en alta temperatura de aceros inoxidables 316L" realizada por el Ing. Rodrigo Contreras Carrillo sea aceptada como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales.

El Comité de Tesis



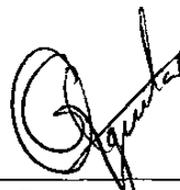
Asesor

Dr. Ubaldo Ortiz Mendez



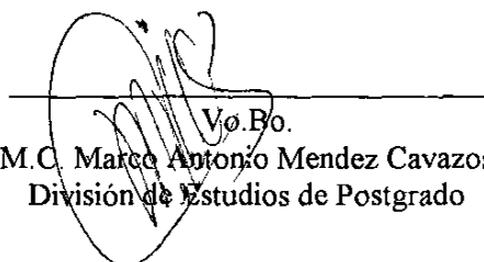
Coasesor

Dr. Carlos Guerrero Salazar



Coasesor

Dr. Juan Antonio Aguilar Garib



Vº.Bº.

M.C. Marco Antonio Mendez Cavazos  
División de Estudios de Postgrado

San Nicolás de los Garza, N.L., Enero de 1996.

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado

*A Dios*, por iluminar mi camino.

*A mis padres, Homero y Socorro*, por enseñarme el camino que recorro.

*A mis hermanos, Norma A., Homero y Beatriz A.*, con quienes recorro el camino.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al CONACYT, por su apoyo económico durante mis estudios de postgrado.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León.

A mi asesor, el Dr. Ubaldo Ortiz Méndez, por todo el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

A mis maestros.

A Laura, por compartir conmigo momentos muy especiales.

Al M. en C. Moisés Hinojosa Rivera por su invaluable colaboración y amistad.

Al M. en C. Eulogio Velasco Santes por su gran ayuda y amistad.

A todas aquellas personas que de una u otra forma me impulsaron y me brindaron su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

A mis familiares, compañeros y amigos, que han estado a mi lado en los momentos tristes y los momentos felices de mi vida.

## PROLOGO

Actualmente en la industria el uso de los aceros inoxidable se ha extendido enormemente, gracias a su característica de alta resistencia a la corrosión, sin embargo esta resistencia se ve afectada por diversas variables, tales como la temperatura a la que se lleva a cabo el proceso.

Los conocimientos científicos de que se dispone en la actualidad acerca del efecto del acabado superficial sobre el comportamiento de los aceros inoxidable cuando son sometidos a algún proceso en alta temperatura, son limitados y se confinan mas bien a observaciones, resultados y conclusiones, llevados a cabo dentro de ciertos límites y condiciones de experimentación, particularmente en dos condiciones superficiales extremas.

Este trabajo es entonces una investigación que tiene la intención de esclarecer de un forma más clara la relación que existe entre el acabado superficial de los aceros inoxidable, específicamente el acero 316L, y su resistencia a la oxidación en alta temperatura.

# INDICE

|  |     |
|--|-----|
| <b>DEDICATORIA</b>   | i   |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>   | ii  |
| <b>PROLOGO</b>   | iii |
| <b>RESUMEN</b>   | 1   |
| <b>INTRODUCCION</b>  | 2   |
| <b>CAPITULO 1.- ANTECEDENTES</b>                                     | 4   |
| 1.1.- Introducción   | 4   |
| 1.2.- Tipos de aceros inoxidable                                     | 6   |
| 1.3.- Nomenclatura de los aceros inoxidable                          | 6   |
| 1.4.- Tipos más comunes de corrosión encontrados en aceros inox.     | 7   |
| 1.5.- Composición estructura y propiedades mecánicas de aceros inox. | 7   |
| 1.5.1.- Aceros inoxidable austeníticos                               | 7   |
| 1.5.2.- Aceros inoxidable al níquel                                  | 8   |
| 1.5.3.- Otros elementos aleantes                                     | 8   |
| 1.6.- Corrosión por gases calientes                                  | 9   |
| 1.6.1.- Introducción   | 9   |
| 1.6.2.- Oxidación  | 9   |
| 1.6.3.- Termodinámica de la oxidación                                | 9   |
| 1.6.4.- Cinética de la oxidación                                     | 11  |
| 1.6.5.- Pasividad  | 12  |
| 1.6.6.- Relación de Pilling-Bedworth                                 | 12  |
| 1.6.7.- Mecanismos de crecimiento de óxidos                          | 14  |

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>CAPITULO 2.-</b> | <b>CONDICION SUPERFICIAL</b>                                 | 17 |
| 2.1.-               | Introducción   | 17 |
| 2.2.-               | Variables principales  | 17 |
| 2.2.1.-             | Atmósfera de trabajo   | 17 |
| 2.2.2.-             | Temperatura de trabajo                                       | 18 |
| 2.2.3.-             | Condición superficial del material                           | 18 |
| <b>CAPITULO 3.-</b> | <b>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</b>                            | 20 |
| 3.1.-               | Introducción   | 20 |
| 3.2.-               | Equipo experimental utilizado                                | 20 |
| 3.3.-               | Imágenes Pseudo-tridimensionales                             | 21 |
| 3.4.-               | Caracterización de los aceros                                | 22 |
| 3.5.-               | Presión, temperatura y atmósfera de trabajo                  | 22 |
| 3.6.-               | Preparación de las muestras                                  | 22 |
| 3.7.-               | Procedimiento de prueba                                      | 23 |
| <b>CAPITULO 4.-</b> | <b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>                                | 25 |
| 4.1.-               | Introducción   | 25 |
| 4.2.-               | Morfología inicial de la superficie                          | 25 |
| 4.3.-               | Incremento en peso contra tiempo                             | 34 |
| 4.4.-               | Morfología final de superficie, después de oxidación en TGA. | 38 |
| 4.5.-               | Resultados comparativos antes y después de la oxidación.     | 48 |
| <b>CAPITULO 5.-</b> | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>                        | 55 |
|                     | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>                            | 57 |
|                     | <b>LISTA DE TABLAS</b>                                       | 60 |
|                     | <b>LISTA DE FIGURAS</b>                                      | 61 |
|                     | <b>RESUMEN AUTOBIOGRAFICO</b>                                | 63 |

## RESUMEN

En este trabajo se estudia el efecto de la condición superficial inicial de los aceros refractarios AISI 316L ( 18 % Cr, 14 % Ni, 0.03 C máx. ) sobre la rapidez de corrosión, al ser expuestos a un proceso de oxidación a alta temperatura en una atmósfera compuesta a base de aire ambiental. Debido a la importancia que representa la condición superficial de cada una de las muestras, y para asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos, los cupones fueron preparados y analizados siguiendo un procedimiento estandar.

Durante el desarrollo de la experimentación se hace uso de técnicas modernas de observación para analizar la condición superficial de las muestras. La oxidación se evalúa utilizando análisis termogravimétrico, por medio del cual es posible someter la muestra, de una manera controlada, a un proceso de oxidación a alta temperatura, obteniendo en forma directa su gráfica de incremento en peso contra tiempo. Durante la experimentación se varía el grado de rugosidad superficial de las muestras, sometiendo éstas después a un proceso de oxidación a 900° C durante un tiempo de hasta 36 horas, se obtienen sus imágenes digitalizadas y se comparan los resultados con los obtenidos en las muestras antes de ser oxidadas.

Los resultados obtenidos de la experimentación muestran un claro indicio de que la muestra que presenta una mayor resistencia a la corrosión es aquella cuya condición superficial fué obtenida al utilizar lija grado 400 SiC, ya que su rapidez de oxidación es menor que para las muestras con acabado burdo - preparadas con lija grado 180 y 320 SiC- y también es menor que para las muestras con acabado más fino - pulidas con lijas grado 500 y 1000 SiC.

## INTRODUCCION

En la actualidad, los aceros inoxidables - aquellos aceros que tienen un contenido mínimo de 10 % cromo - se usan ampliamente en todo el mundo como materiales de construcción en las más importantes ramas de la industria, lo cual les otorga una gran importancia tecnológica y económica.

La investigación de los aceros inoxidables comenzó a principios de siglo y se realizó casi simultáneamente en varios países: Alemania, Inglaterra, Estados Unidos y Francia. Sin embargo, los intentos realizados por las industrias química, petroquímica, nuclear y de navegación por extender su uso a un mayor número de aplicaciones, ha generado un gran interés en profundizar aún más en el conocimiento de su resistencia a la corrosión.(1)

Los materiales objeto de este estudio son los aceros inoxidables llamados refractarios, los cuales son desarrollados para soportar altas temperaturas y atmósferas corrosivas; están compuestos principalmente de elementos como cromo, el cual forma una película superficial resistente (cromita,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) cuando entra en contacto con agentes capaces de ceder oxígeno, la cual los protege de posibles ataques en presencia de medios corrosivos. (2)

Para que la película de cromita tenga una mayor resistencia química y mecánica se pueden añadir otros elementos tales como níquel, molibdeno, cobre, entre otros. La aportación de estos y otros elementos permite obtener una amplia gama de constituyentes estructurales, dando origen a una gran variedad de calidades con innumerables aplicaciones. Por ejemplo, la función principal del níquel es generar una estructura austenítica, con la finalidad de incrementar la resistencia mecánica del material.(3)

Debido a que en los procesos industriales un gran número de componentes metálicos son expuestos a procesos que se desarrollan a altas temperaturas ( 700° C a 1200° C ), las condiciones de acabado superficial son un elemento importante que debe ser tomado en consideración al momento de analizar la relación causa-efecto de las fallas que se presentan en los materiales durante dichos procesos industriales.

En este trabajo se estudia el efecto que genera la condición del acabado superficial de los aceros 316L sobre la rapidez de oxidación, cuando son sometidos a un proceso a alta temperatura, partiendo de la hipótesis de que un acabado superficial burdo - pulido con lija 180 SiC. - presenta una rapidez de oxidación similar a la que genera un acabado superficial fino - pulido con lija 1000 SiC. -, la cuál a su vez sería menor que la rapidez de oxidación observada para un acabado superficial intermedio - como la que pudiera obtenerse al pulir las muestras con lija grado 400 SiC.