

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**ESTUDIO ELECTROQUIMICO DE ACEROS
ALEADOS AL MANGANESO EMBEBIDOS
EN MORTERO PARA LA DETERMINACION
DE SU RESISTENCIA A LA CORROSION**

TESIS

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

PRESENTA:

FRANCISCO JAVIER CAMACHO VILLANUEVA

CIUDAD UNIVERSITARIA

AGOSTO 2001.

TM
Z5853
.M2
FIME
2001
C35



1020146050

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ESTUDIO ELECTROQUIMICO DE ACEROS
ALEADOS AL MANGANESO EMBEBIDOS
EN MORTERO PARA LA DETERMINACION
DE SU RESISTENCIA A LA CORROSION

TESIS

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

PRESENTA:

FRANCISCO JAVIER CAMACHO VILLANUEVA

CIUDAD UNIVERSITARIA

AGOSTO 2001.

0150-33660

TM
25853
•M2
FIRE
2001
Q3-



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**ESTUDIO ELECTROQUÍMICO DE ACEROS ALEADOS AL
MANGANESO EMBEBIDOS EN MORTERO PARA LA
DETERMINACIÓN DE SU RESISTENCIA A LA CORROSIÓN**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA CON
ESPECIALIDAD EN MATERIALES**

PRESENTA

FRANCISCO JAVIER CAMACHO VILLANUEVA

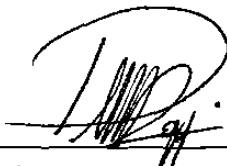
CIUDAD UNIVERSITARIA

AGOSTO 2001.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis “Estudio electroquímico de aceros aleados al manganeso embebidos en mortero para la determinación de su resistencia a la corrosión”, realizada por el Ing. Francisco Javier Camacho Villanueva, con matrícula 783115 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales

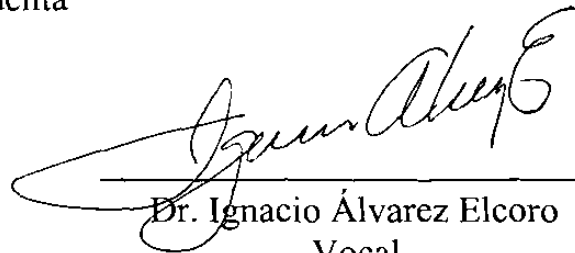
El comité de tesis



Dra. Patricia Rodríguez López
Presidenta



Dr. Alberto Pérez Unzueta
Secretario



Dr. Ignacio Álvarez Elcoro
Vocal

Vo.Bo.

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

San Nicolás de los Garza, N.L. Septiembre 2001

Agradecimientos

A mis padres y hermanos por todo el apoyo que me han brindado y por la confianza que siempre han tenido en mí.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, la cual me hace sentir orgulloso de haber pertenecido a ella.

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

Al Doctorado en Ingeniería de Materiales (DIMAT).

A la Doctora Patricia Rodríguez por todos sus consejos y confianza pero especialmente por su amistad.

Al Doctor Rafael Colas Ortiz por haber compartido muchos de los conocimientos que me han hecho crecer profesionalmente.

Al Doctor Alberto Pérez Unzueta por su valiosa contribución en mi formación profesional.

Al Doctor Ignacio Álvarez Elcoro por todo el apoyo para la terminación de esta tesis.

Dedicatoria

A mis padres

Francisco Javier Camacho Raga

Margarita Villanueva Gonzalez

A mis hermanos

Margarita

Karen

Edgar

A mi novia

Ana Rosa

Francisco Javier

Prólogo

Este trabajo de tesis es el segundo que surge dentro del Programa Doctoral de la FIME, la finalidad fue generar experiencia en el área de corrosión en estructuras de concreto.

Por lo que este trabajo se concentró en aplicar algunas técnicas electroquímicas en sistemas que simularan una condición extrema y que causara corrosión en un sistema acero/concreto y que pudiera servir para conocer de una manera rápida y precisa la corrosión que se desarrolla en las estructuras de concreto, tomando en cuenta una serie de criterios, como la puesta en obra o las características del propio acero de refuerzo con la finalidad de tratar de minimizar este deterioro silencioso y paulatino que sufren las estructuras de concreto reforzadas.

Este trabajo de tesis no ha sido nada fácil, pero ha valido la pena aventurarse en este mar de conocimiento y descubrir aspectos científicos y humanos muy valiosos que van a traer consigo futuras investigaciones.

Patricia Rodríguez López.

ÍNDICE

Agradecimientos	i
Dedicatoria	ii
Prólogo	iii
Capítulo 1: Introducción	1
Capítulo 2: Materiales para concreto	
2.1 Cementos	5
2.1.1 Proceso de fabricación	5
2.1.2 Composición química del cemento Portland	6
2.1.2.1 Tipos de cemento Portland	7
2.1.3 Pasta de cemento	9
2.1.4 Relación agua/cemento	10
2.1.5 Fraguado	11
2.1.6 Calor de hidratación	12
2.2 Agregados	13
2.2.1 Agregado fino	14
2.2.2 Agregado grueso	15
2.2.3 Agua para la mezcla de concreto	16
2.3 Propiedades del concreto fresco	17
2.3.1 Estructura del concreto fresco	18
2.3.2 Manejabilidad y consistencia	18
2.3.3 Segregación y exudado	19
2.3.4 La inclusión de aire	20
2.3.5 Aditivos	21
Capítulo 3: Deterioro de las estructuras de concreto	
3.1 Introducción	23
3.2 Principios generales de la corrosión	24
3.2.1 Definición de corrosión	24
3.2.2 Fuerza generadora de la corrosión	25
3.2.3 Oxidación y reducción	27
3.2.4 Corrosión electroquímica	28
3.2.5 Celda electroquímica	30
3.2.6 Pasivación y capas protectoras	32
3.2.7 Tipos de corrosión	34
3.2.7.1 Ataque uniforme	34
3.2.7.2 Corrosión galvánica	34
3.2.7.3 Corrosión por hendiduras	37

3.2.7.4 Corrosión por picaduras	38
3.2.7.5 Corrosión intergranular	39
3.2.7.6 Corrosión selectiva	40
3.2.7.7 Corrosión por erosión	40
3.2.7.8 Corrosión bajo esfuerzo	41
3.3 Durabilidad del concreto	42
3.3.1 Introducción	42
3.3.2 Corrosión del acero de refuerzo	43
3.3.3 Descripción del proceso	44
3.3.4 Causas de la corrosión del acero embebido en concreto	47
3.3.5 Corrosión localizada (corrosión inducida por cloruros)	49
3.3.6 Corrosión generalizada	55
3.3.7 Influencia de las grietas en el deterioro del concreto reforzado	57
3.3.8 Reacciones álcali-agregado	59
3.3.9 Daños por congelamiento y deshielo	61
3.3.10 Ataque por sulfatos	63

Capítulo 4: Aceros estructurales

4.1 Introducción	64
4.2 Aceros al carbono	65
4.3 Aceros HSLA	67
4.4 Aceros de baja aleación	70
4.5 Factores metalúrgicos	71
4.5.1 Diagrama Fe-Fe ₃ C	72
4.5.2 Mecanismos de endurecimiento en el acero	73
4.5.2.1 Endurecimiento por solución sólida	74
4.5.2.2 Refinamiento del tamaño de grano ferrítico	75
4.5.2.3 Endurecimiento por precipitación	77
4.5.2.4 Endurecimiento por transformación	79
4.5.2.5 Endurecimiento por dislocaciones	81
4.6 Laminación controlada/proceso termomecánico	82
4.6.1 Descripción del proceso	82
4.6.2 Barras de refuerzo laminadas en caliente	85
4.6.3 Barras con enfriamiento controlado	86
4.7 Aceros experimentales aleados al manganeso	90

Capítulo 5: Desarrollo experimental.

5.1 Probetas de mortero.	93
5.2 Descripción del procedimiento para la preparación de las probetas.	94
5.3 Pruebas de corrosión acelerada.	96
5.4 Probetas de acero.	96
5.4.1 Tratamiento térmico superficial.	97
5.5 Microestructuras.	99
5.6 Registro del E _{corr}	115

5.7 Medición de la velocidad de corrosión	116
Capítulo 6: Resultados y discusión.	
6.1 Pruebas de corrosión acelerada.	118
6.2 Potencial de corrosión.	121
6.3 Velocidad de corrosión.	128
Capítulo 7: Conclusiones.	146
Capítulo 8: Recomendaciones.	147
Lista de figuras	148
Lista de tablas	153
Referencias bibliográficas.	154
Anexo A	157