

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



DESGASTE DE ACEROS ALEADOS EN SISTEMAS
DE TRANSPORTE NEUMATICO

POR:

DORA IRMA MARTINEZ DELGADO

TESIS

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

CD. UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DE 1996

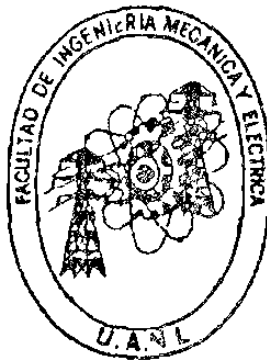


1020116665

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**DESGASTE DE ACEROS ALEADOS EN SISTEMAS DE TRANSPORTE
NEUMÁTICO**

POR

DORA IRMA MARTÍNEZ DELGADO

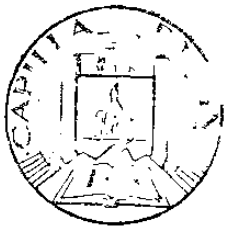
TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

CD. UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DE 1996

TM
Z5853
.M2
FINE
1996
M374

0117-26360

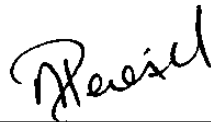


FONDO TESIS

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: Desgaste de Aceros Aleados en Sistemas de Transporte Neumático realizada por Dora Irma Martínez Delgado 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



Asesor
Dr. Alberto Pérez Unzueta



Coasesor
Dr. Abraham Velasco Tellez



Coasesor
Dr. Rafael Colás Ortiz



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

DEDICATORIA

A DIOS SOBRE TODAS LAS COSAS.

*A MIS PADRES IRMA Y JERONIMO POR TODO SU CARIÑO Y APOYO
BRINDADO
A LO LARGO DE ESTA ETAPA.*

*A MIS HERMANOS CARLOS, JAIME, PATY Y CESAR POR SU CARIÑO Y
COMPRESION A LO LARGO DE ESTA ETAPA CURSADA.*

*A TODOS MIS AMIGOS QUE ME HAN ACOMPAÑADO SIEMPRE EN
TODO MOMENTO.*

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo económico brindado.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León. A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica en especial al Doctorado de Ingeniería en Materiales y dentro de ella a mis maestros y compañeros.

Al Dr. Alberto Pérez por su valioso asesoramiento y confianza brindada a lo largo de este trabajo.

Al Dr. Abraham Velasco Téllez por sus valiosos comentarios, asesoramiento y apoyo dentro y fuera de este trabajo.

Al Dr. Rafael Colás Ortiz por su valiosa participación en el asesoramiento de este trabajo.

Al los Doctores: Ubaldo Ortiz, Carlos Guerrero, Juan A. Aguilar y Patricia Rodríguez por su apoyo y consejos durante el estudio de la Maestría.

Al Ing Ricardo Viramontes Brown por todo su apoyo recibido en la empresa HYLSA y por sus valiosos comentarios. Dentro de la empresa al Ing. Marco Flores e Ing. Alberto Soriano por su tiempo y valiosos comentarios en este trabajo. Dentro de la planta piloto al Ing. Sergio Caballero, Ing. Juan Carlos y Sr. Ernesto Martínez por su ayuda prestada. A Lorena, Edhit, Esmeralda y Paloma por su excelente trato y ayuda brindada a lo largo de este trabajo.

Al Lic. Andrés Fuentes, Cristóbal y Juan de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas por su ayuda y amistad de siempre. A Margarita Mezzetti Fausto por su participación siempre cordial y cumplida.

A mis compañeros de generación Esperanza, Miguel, Efrén y Manuel Paláfox por todos los momentos que compartimos en las buenas y en las malas, bien muchachos.

A todos mis amigos y amigas que me acompañaron durante mis estudios dentro y fuera del DIMAT.

ÍNDICE

	Página
Lista de Figuras	v
Lista de Tablas	vii
Resumen	ix
Capítulo 1 Introducción.	1
Capítulo 2 Aceros.	3
2.1 Introducción	3
2.2 Clasificación	5
2.3 Aceros al Carbono	6
2.4 Aceros Aleados	8
2.4.1 Elementos de Aleación	9
2.4.2 Efecto de los Elementos de Aleación en el Proceso de Temple	11
2.4.3 Efecto de los Elementos de Aleación en el Proceso de Revenido	11
2.5 Aceros Inoxidables	13
2.6 Aceros Resistentes al Calor para Tubería	15
Capítulo 3 Transporte Neumático.	17
3.1 Fundamentos	17
3.2 Clasificación del Material Transportado	21
3.3 Descripción y Operación de un Sistema de Transporte Neumático	
3.3.1 Diagrama de Estado	24
3.3.2 Flujo Horizontal y Vertical	27
3.3.3 Sistemas de Vacío y Presiones Positivas	28
3.4 Aplicación a las Industrias	29
3.4.1 Industria de la Alimentación	29
3.4.2 Industria de la Pulpa y el Papel	30
3.4.3 Industria del Cemento	31
3.4.4 Industria del Plástico	32
3.4.5 Industria de Metales Ferrosos	33

Capítulo 4	Desgaste.	34
	4.1 Fundamentos	34
	4.2 Clasificación del Desgaste	35
	4.2.1 Desgaste Adhesivo	36
	4.2.2 Desgaste Abrasivo	38
	4.2.3 Desgaste Erosivo	41
	4.2.4 Desgaste por Fatiga	44
	4.2.5 Desgaste Corrosivo	45
	4.2.6 Desgaste por Rozamiento	46
	4.2.7 Desgaste por Cavitación	47
	4.3 Efecto de la Microestructura en el Desgaste	48
	4.4 Desgaste en Aceros	49
	4.4.1 Desgaste de Aceros al Carbono y Aleados	49
	4.4.2 Desgaste del Acero Inoxidable	50
	4.5 Control de Varias Formas de Desgaste	51
Capítulo 5	Experimentación.	53
	5.1 Introducción	53
	5.2 Descripción de la Planta Piloto	54
	5.3 Composición Química de los Materiales y Gas	55
	5.4 Procedimiento Experimental	57
	5.4.1 Medición de Espesores	57
	5.4.2 Preparación Metalográfica	58
	5.4.3 Ensayo de Microdureza	60
	5.5 Equipo Utilizado	61
Capítulo 6	Resultados y Discusión.	62
	6.1 Inspección Visual	62
	6.2 Espesores de Pared	64
	6.3 Metalografía	72
	6.4 Microdurezas	84
	6.5 Comparación Cuantitativa de los Aceros y Predicción de Desgaste	90
Capítulo 7	Conclusiones.	98
	Referencias.	99
	Resumen Autobiográfico.	101

LISTA DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
2.1	Diagrama de fases carburo de hierro - hierro	4
3.1	Patrones de flujo en una línea de tubería horizontal	21
3.2	Situación de flujo de pistones	23
3.3	Diagrama de estado para transporte horizontal	24
4.1	Procesos típicos de desgaste	36
4.2	Representación esquemática de la generación de partículas de desgaste como resultado del proceso adhesivo	38
4.3	Representación esquemática de las diferencias entre (a) dos cuerpos, (b) tres cuerpos en el desgaste abrasivo	39
4.4	Los dos mecanismos de formación de surcos en los metales	40
4.5	Diagrama de las fuerzas que actúan sobre una partícula en contacto con una superficie sólida	42
4.6	Representación esquemática del desgaste por fatiga debido a la formación de grietas en la superficie y sub superficie	44
4.7	Modelo de desgaste corrosivo	46
4.8	Representación esquemática de la erosión por cavitación debido al impacto de burbujas de líquido	47
5.1	Esquema de la línea de tubería en el ensayo	54
5.2	Planta piloto de transporte neumático	55
5.3	Sistema de identificación para lecturas de espesores	58
5.4	Descripción de los instrumentos usados en el ataque del AISI 304	59
5.5	Descripción de los ensayos de microdureza	60

6.1	(a) Fotografía del tramo de tubo del acero al carbono, (b) Acero inoxidable (c) Acero tipo P-11	63
6.2	Diferencias de espesor de las cuatro secciones del acero 1005	70
6.3	Diferencias de espesor de las cuatro secciones del acero inox. 304	70
6.4	Diferencias de espesor de las cuatro secciones del acero tipo P-11	70
6.5	Microestructura del AISI 1005 a 200 x sin desgaste	73
6.6	Microestructura del AISI 1005 a 200 x desgastado	73
6.7	AISI 1005 zona inferior desgastada a 400x	74
6.8	AISI 1005 zona inferior desgastada a 400x	74
6.9	(a) Acero 1005 desgastado zona superior a 400x. (B) borde a 200x	75
6.10	Microestructura del inox. 304 sin desgastar, zona inferior a 200x	77
6.11	Microestructura del 304 desgastado, zona inferior deformada 200x	77
6.12	Inox. 304, zona inferior desgastada a 400x	78
6.13	Inox. 304, zona inferior desgastada a 400x	78
6.14	(a) Acero inoxidable 304, zona superior (norte) a 400x. (b) a 200x	79
6.15	Microestructura del P-11 sin desgastar, zona inferior a 200x	81
6.16	Microestructura del P-11 desgastado, zona inferior deformada a 200x	81
6.17	Acero tipo P-11 zona inferior desgastada a 400x	82
6.18	Acero tipo P-11 zona inferior desgastada a 400x	82
6.19	(a) Acero P-11 desgastado, zona superior a 200x. (b) borde interior	83
6.20	Gráfica de microdureza inicial del acero al carbono	85
6.21	Gráfica de microdureza final de la superficie deformada	85
6.22	Gráfica de microdureza inicial del acero inoxidable 304	87
6.23	Gráfica de microdureza final de la superficie deformada del 304	87
6.24	Gráfica de microdureza inicial del acero tipo P-11	89
6.25	Gráfica de microdureza final de la superficie deformada del P-11	89
6.26	Comparación cuantitativa de los tres aceros en la zona sur	91
6.27	(a) Comportamiento del acero al carbono con respecto a la pérdida de espesor en función del tiempo. (b) Acero inoxidable. (c) Acero tipo P-11	97

LISTA DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
2.2.1	Principales tipos de aceros de aleación estándar	6
2.3.1	Propiedades mecánicas típicas y aplicaciones de los aceros de carbono ordinario	8
2.4.1	Distribución aproximada de los elementos aleantes en aceros de aleación	10
2.4.2	Efectos específicos de los elementos de aleación en el acero	12
2.5.1	Propiedades mecánicas típicas y aplicaciones de aceros inoxidable	15
3.2.1	Clasificaciones de fases del transporte neumático	21
3.3.1	Comparación de velocidades en sistemas de presión y de vacío con diferentes materiales	28
4.5.1	Propiedades de un material preferidas para el control de un proceso en particular de desgaste	51
5.3.1	Composición química (% en peso) de los aceros	55
5.3.2	Condiciones del experimento	56
5.3.3	Composición del gas (% en volumen)	56
5.3.4	Composición típica del hierro esponja	56
6.2.1	Datos iniciales de espesor de pared del A.C. Identificación a 90°	64
6.2.2	Espesores de pared finales del acero al carbono	64
6.2.3	Diferencias de espesores y porcentaje de pérdida del A.C.	65
6.2.4	Datos iniciales de espesor de pared del 304. Identificación a 90°	66
6.2.5	Espesores finales del acero inoxidable 304	66
6.2.6	Diferencias de espesores y porcentaje de pérdida del 304	67
6.2.7	Datos iniciales de espesor de pared del acero tipo P-11	68
6.2.8	Espesores finales del acero tipo P-11	68

6.2.9	Diferencias de espesores y porcentaje de pérdida del P-11	69
6.4.1	Valores promedios de microdureza Vickers en la zona no deformada del acero AISI 1005	84
6.4.2	Valores promedios de microdureza Vickers en la zona no deformada del acero inoxidable 304	86
6.4.3	Valores promedios de microdureza Vickers en la zona no deformada del acero A335 tipo P-11	88
6.5.1	Comparación cuantitativa de los tres tipos de aceros	90
6.5.2	Ecuaciones de predicción de desgaste de los tres aceros	92
6.5.3	Predicción de desgaste para los tres tipos de aceros	95

RESUMEN

El desgaste en sistemas de transporte neumático se presenta en el equipo y en las líneas de tubería, poniendo en riesgo tanto la seguridad del material transportado como la del personal de trabajo. Una de estas secciones, la cual es tubería horizontal, es sometida a condiciones de trabajo severas durante un período de tiempo en el transporte de fierro esponja (mineral de fierro reducido) en una planta piloto. El transporte de fase densa a bajas velocidades presentó un desgaste abrasivo en las $\frac{3}{4}$ partes de la tubería, siendo en la zona inferior el mayor daño debido al efecto de la gravedad.

El siguiente trabajo describe el daño causado a tres segmentos de tubos de aceros (acero AISI 1005, inoxidable AISI 304 y ASTM A335, Grado P-11) utilizados en el proceso de transporte neumático de pélets de fierro esponja de fase densa a 300°C durante un período de 15 días; se estudió el mecanismo o mecanismos de desgaste presentes.

Se investigó la evolución de la microestructura de los aceros después de someterlos a desgaste, caracterizándolos utilizando microscopía óptica. Se determinó la pérdida de volumen que presentaba la sección de mayor desgaste. Además se realizaron pruebas de microdureza de las diferentes condiciones estudiadas, como resultado se obtuvo que la zona de mayor desgaste para los tres materiales fue la zona inferior. De microscopía óptica se observa una deformación plástica en la superficie interna.

Utilizando como modelo el desgaste erosivo, como primera aproximación, se predice el tiempo de vida media de los tubos para un espesor crítico de la tubería que es sometida a altas presiones, con relación a parámetros de transporte neumático.