

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



## DESGASTE EN TRANSPORTE NEUMATICO

POR:

ESPERANZA TEOFILA DE AQUINO AGUIRRE

TESIS

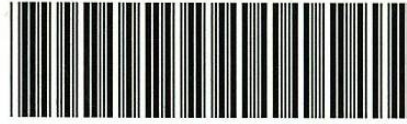
EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA  
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

CD. UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DE 1996

TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
1996  
D4

DRAGONARMS  
FOR  
JEWELRY  
CO.

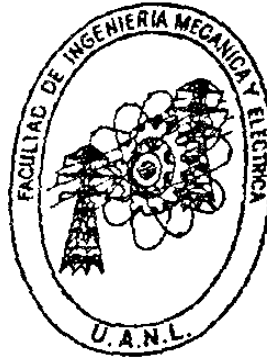


1020116660

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**DESGASTE EN TRANSPORTE NEUMÁTICO**

**POR**

**ESPERANZA TEÓFILA DE AQUINO AGUIRRE**

**TESIS**

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

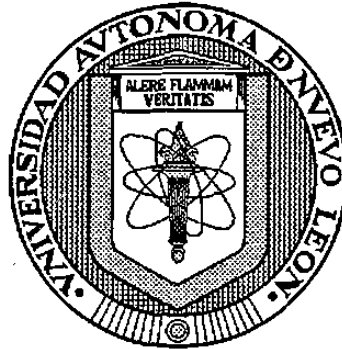
**CD. UNIVERSITARIA**

**SEPTIEMBRE DE 1996**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**DESGASTE EN TRANSPORTE NEUMÁTICO**

**POR**

**ESPERANZA TEÓFILA DE AQUINO AGUIRRE**

**TESIS**

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

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

**SEPTIEMBRE DE 1996**



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 en Transporte Neumático realizada por Esperanza Teófila Deaquino Aguirre 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



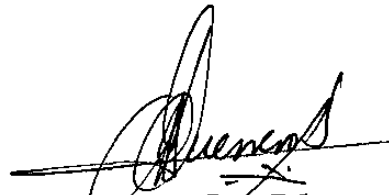
---

Asesor  
Dr. Alberto Pérez Unzueta



---

Coasesor  
Dr. Abraham Velasco Tellez



---

Coasesor  
Dr. Carlos Guerrero Salazar



---

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

*A mi familia*



## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el soporte brindado a este proyecto.

A la UANL, FIME, y especialmente al DIMAT, por su interés en la investigación.

A HYLSA, por su cooperación tecnológica y ayuda ingenieril.

Quiero agradecer al Dr. Alberto Pérez Unzueta, la ayuda brindada en las diferentes etapas de esta investigación. Por su carácter enfático y emprendedor para conmigo.

Al Dr. Abraham Velasco por su asesoría siempre profesional y revisión de la presente. Así también por su trato fino y su grata amistad.

Al Dr. Carlos Guerrero Salazar, por su excelente revisión, comentarios y sugerencias que enriquecen este trabajo.

Al Dr. Ubaldo Ortiz Méndez por sus prestos consejos, motivación y ayuda siempre brindada.

Al Ing. Ricardo Viramontes Brown, por su disponibilidad y efectiva dirección de recursos a su cargo.

A los ingenieros Marco Flores y Alberto Soriano por su constante y entusiasta ayuda.

A quienes me apoyaron en planta Sr. Ernesto Martínez, Sr. Ernesto Narvaez, a los ingenieros Sergio Caballero, Tomás Hernández, Rodolfo de la Garza y Omar. Al Ing. Miguel Cadena por su ayuda en instrumentación y profesionalismo en su trabajo. A todos los de la planta piloto.

A Lorena, Paloma, Edith y Esmeralda, por la ayuda siempre eficaz.

A mis estimados compañeros de generación: Doris, Efrén, Cúpich y Palafox.

A mis compañeros que me recibieron en el DIMAT: Ana María, Moisés, Idalia, Eulogio, Sigi, Mayito, Pablito, Talamantes, Alemán, Julio, García y Cavazos. A mi hermanito Nahum y sus amigos. A todos mis compañeros del DIMAT y colaboradores, gracias.

A los olvidados: Yaniré, por sus motivación y gran amistad. A Baca, Néstor, Eliezer, Chapa, Julio, Jaime, Tavo y Lolis ..... quienes alguna vez adolecimos de lo mismo.

# ÍNDICE

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>DEDICATORIA</b> . . . . .	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> . . . . .	<b>ii</b>
<b>RESUMEN</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>2. TRANSPORTE NEUMÁTICO</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1 Definición . . . . .	5
2.2 Transportador neumático . . . . .	5
2.3 Constituyentes de un sistema de transporte neumático . . . . .	7
2.4 Tipos de transporte neumático . . . . .	10
2.5 Consideraciones en transporte neumático . . . . .	12
2.5.1 Flujo horizontal y vertical . . . . .	12
2.5.2 Suspensión de partículas finas y burdas . . . . .	13
2.6 Ventajas y desventajas del transporte neumático . . . . .	14
<b>3. DESGASTE</b> . . . . .	<b>17</b>
3.1 Definición . . . . .	17
3.2 Clasificación . . . . .	17
3.3 Mecanismos de desgaste . . . . .	20
3.3.1 Desgaste adhesivo . . . . .	20
3.3.2 Desgaste abrasivo . . . . .	22
3.3.3 Desgaste por erosión de partículas sólidas . . . . .	23
3.4 Leyes de desgaste . . . . .	27
3.5 Equipo y procedimientos para medir el desgaste . . . . .	29
<b>4. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PARTÍCULAS EN TRANSPORTE NEUMÁTICO</b> . . . . .	<b>30</b>
4.1 Introducción . . . . .	30
4.2 Tiro horizontal . . . . .	33
4.3 Extrapolación de medio y temperatura . . . . .	34
4.3.1 Diseño del péndulo balístico . . . . .	35
4.3.2 Extrapolación para cambio de medio transportador . . . . .	36
4.3.3 Extrapolación en base a temperaturas . . . . .	36

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>5. EXPERIMENTACIÓN . . . . .</b>	<b>39</b>
5.1 Descripción de materiales y medios de transporte . . . . .	39
5.1.1 Descripción del material a transportar . . . . .	39
5.1.2 Descripción del gas transportador . . . . .	39
5.1.3 Descripción del material para pruebas de desgaste . . . . .	40
5.2 Descripción del equipo . . . . .	40
5.2.1 Descripción del equipo para las pruebas de desgaste . . . . .	40
5.2.2 Descripción del equipo para medir la velocidad de las partículas . . . . .	42
5.3 Condiciones experimentales . . . . .	47
5.3.1 Objetivo de los experimentos . . . . .	47
5.3.2 Diseño de los experimentos . . . . .	47
5.3.2.1 Para medir la velocidad de las partículas . . . . .	47
5.3.2.2 Para medir la razón de desgaste . . . . .	48
5.3.3 Condiciones de prueba . . . . .	49
5.3.4 Procedimiento experimental . . . . .	50
5.3.4.1 Para obtener la velocidad de las partículas . . . . .	50
5.3.4.2 Para las pruebas de desgaste . . . . .	51
<b>6. RESULTADOS . . . . .</b>	<b>52</b>
6.1 Resultados concernientes a la velocidad de las partículas . . . . .	52
6.2 Resultados concernientes a la razón de desgaste . . . . .	59
6.2.1 Resultados cualitativos . . . . .	59
6.2.1 Resultados cuantitativos . . . . .	61
<b>7. DISCUSIONES . . . . .</b>	<b>65</b>
<b>8. CONCLUSIONES . . . . .</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>LISTA DE TABLAS. . . . .</b>	<b>77</b>
<b>LISTA DE FIGURAS . . . . .</b>	<b>78</b>
<b>RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO . . . . .</b>	<b>81</b>

## RESUMEN

El transporte neumático de partículas sólidas a altas temperaturas presenta dos fenómenos de importancia, la degradación de partículas y líneas de transporte. La falta de información en la literatura sobre la cinética de los mecanismos de desgaste promovió una inquietud científica y una necesidad tecnológica de estudiar el fenómeno de desgaste en las tuberías de transporte neumático. Uno de los principales parámetros en el proceso de desgaste aquí estudiados, es la velocidad de la partícula al momento de impactar en las paredes del tubo. Se planteó la hipótesis de determinar el rango de desgaste en función de la velocidad de las partículas. El desarrollo de este trabajo consistió en determinar la velocidad promedio de partículas en una planta experimental tipo laboratorio de transporte neumático de material de hierro esponja. El método consistió primeramente en medir la velocidad de las partículas de hierro esponja en un flujo de aire a temperatura ambiente por medio de tiro horizontal. Entonces se aplicaron algunas extrapolaciones para el cambio de gas y temperatura. Para el cambio de aire por gas reductor se construyó un péndulo balístico, el cual resultó efectivo para detectar los desplazamientos impresos por las partículas. Los resultados obtenidos muestran que es necesario aplicar un aumento del 200 % en el suministro de flujo de gas R con respecto al del aire para obtener una misma velocidad de partícula en ambos medios. Además se encontró que conforme se incrementa la temperatura en el gas R, menor cantidad del mismo es requerido para mantener la velocidad de la partícula a temperatura ambiente. Una vez obtenidos los valores de flujo y velocidad de partículas se procedió a realizar pruebas de desgaste en muestras de acero tipo ASTM A106 grado B. Los cupones probados mostraron zonas dañadas por erosión, las cuales fueron analizadas por medio de microscopía óptica. Así también se determinó el desgaste por unidad de área y las constantes de desgaste  $k$  a diferentes temperaturas. Encontrándose que para una velocidad de 12 m/s la constante aumenta conforme se incrementa la temperatura. A fin de conocer el mecanismo de desgaste se tomaron micrografías electrónicas de barrido, las cuales mostraron remoción del material en dirección del flujo o movimiento de las partículas.