UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OPTIMIZACION DE LA FORMULACION
AZS 43 20 37

TESIS

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

PRESENTA

FABIOLA DAVILA DEL TORO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. AGOSTO DE 2003

F. D. T.

OPTIMIZACION DE LA FORMULACION
AZS 43 20 37

TM
Z5853
.M2
FIME
2003
.D3

1020149031

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OPTIMIZACION DE LA FORMULACION
AZS 43 20 37

TESIS

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

PRESENTA

FABIOLA DAVILA DEL TORO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. AGOSTO DE 2003

283281

TM
Z5853
.M2
FI01E
2003
.D3

FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÒNOMA DE NUEVO LEÒN

FACULTAD DE INGENIERÌA MECÀNICA Y ELÈCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

OPTIMIZACIÒN DE LA FORMULACIÒN AZS 43 20 37

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÌA MECÀNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES.

PRESENTA

FABIOLA DÁVILA DEL TORO

SAN NICOLÀS DE LOS GARZA, N.L. AGOSTO 2003

UNIVERSIDAD AUTÒNOMA DE NUEVO LEÒN

FACULTAD DE INGENIERÌA MECÀNICA Y ELÈCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

OPTIMIZACIÒN DE LA FORMULACIÒN AZS 43 20 37

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÌA MECÀNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES.

PRESENTA
FABIOLA DÁVILA DEL TORO

SAN NICOLÀS DE LOS GARZA, N.L. AGOSTO 2003

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

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis "Optimización de la Formulación AZS 43 20 37" realizada por la Ing. Fabiola Iliana Dávila del Toro sea aceptada como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales.

El Comité de Tesis

Asesora
Dra. Patricia Rodríguez López

Coasesora
Dra. María Idalia del Consuelo Gómez de la Fuente

Coasesora
Dra. Martha Patricia Guerrero Mata

Vo. Bo.
Dr. Gpe. Alan Castillo Rodríguez
División de Estudios de Postgrado
San Nicolás de los Garza; Nuevo León, Agosto del 2003.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

PROLOGO

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS 3

HIPÓTESIS 3

CAPITULO II: ANTECEDENTES

2.1 Aspectos generales de los refractarios 4

2.1.1 Introducción 4

2.1.2 Definición 4

2.1.3 Clasificación 5

2.2 Proceso de manufactura 7

2.2.1 Materias primas 8

2.2.1.1 Características de las materias primas 8

2.2.2 Técnicas de conformado 15

2.2.3 Tratamientos térmicos 17

2.2.3.1 Sinterización 17

2.2.3.2 Fusión 19

2.3 Propiedades de los refractarios 20

2.4 Hornos para fusión de vidrio 22

2.4.1 Historia 22

2.4.2 Instalación 23

2.4.3 Fabricación del vidrio 24

2.5 Aspectos para la adecuada selección refractaria en la industria del vidrio 26
2.6 Objetivos del revestimiento refractario 26
2.7 Condiciones a las que está sometidos lo refractarios en las distintas zonas del horno 27
2.8 Factores que determinan el desgaste refractario en el horno 29
2.9 Interacción líquido-refractario 30
2.10 Pruebas no destructivas para refractarios AZS 32
2.11 Estudios Post-Mortem 32

CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 Caracterización de las materias primas 34
3.1.1 Análisis químicos 35
3.1.2 Difracción de rayos X (DXR) 36
3.1.3 Análisis térmico diferencial (ATD) 36
3.1.4 Análisis térmico gravimétrico (ATG) 37
3.1.5 Microscopia electrónica de barrido (MEB) 37
3.2 Preparación de la formulación AZS 43-20-37 38
3.2.1 Formulaciones AZS y AZSz sinterizadas a 1500 y 1600°C 39
3.3 Determinación de densidad 40
3.4 Prueba de ataque por vidrio fundido 41

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Análisis de materias primas utilizadas (Al_2O_3,ZrO_2, SiO_2, $ZrSiO_4$) 42
4.1.1 Análisis químico 42
4.1.2 Difracción de rayos X (DRX) 43
4.1.3 Microscopia electrónica de barrido (MEB) 44
4.1.4 Análisis térmico (ATD/ATG) 45

4.2 Análisis de difracción de rayos X de composiciones sinterizadas 58
4.3 Análisis por microscopia electrónica de barrido 64
4.4 Determinación de densidad 82
4.5 Análisis de pruebas de deterioro por vidrio fundido mediante SEM 83

CAPITULO V: CONCLUSIONES 100

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES 101

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A Análisis químico de la alúmina
ANEXO B Análisis químico de la zirconia
ANEXO C Análisis químico de la sílice
ANEXO D Análisis químico del zircón
ANEXO E Análisis químico del vidrio

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

DEDICATORIA

A Dios... primeramente, por haberme permitido terminar con un ciclo más en mi vida.

A mis padres y mi hermana ...por apoyarme y estar siempre conmigo.

A Nulsi.

Solo conseguirás llegar al final de tu camino si obedeces tu ritmo personal. Puede que tardes más que otros o tengas que avanzar solo, pero es necesario respetar tu propio ritmo. Cuando percibas esto, quizá lo apliques a todo lo que tienes que hacer en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL y al Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales.

A CONACYT ya que sin su apoyo no hubiera podido realizar estos estudios.

A la Dra. Patricia Rodríguez López, ya que sin ella este trabajo no hubiera llegado a mis manos.

A la Dra. Martha Guerrero por su interés mostrado en la terminación de ésta tesis.

A la Dra. Idalia Gómez por sus sugerencias y sus ánimos para la culminación de este trabajo.

A la Mc. Claudia López, primeramente por su amistad y su gran ayuda en el Laboratorio.

Mis sinceros agradecimientos al Dr. Alberto Pérez y al Dr. Rafael Colàs por su apoyo durante mi estancia en el DIMAT y por ayudar a la realización de esta tesis.

A todos mis compañeros por haber hecho mi estancia agradable en el DIMAT, y gracias.. Marsella porque aparte de una compañera encontré a una amiga.

A todos los Doctores que conforman el Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales.

ACIEMAC

Al Tecnológico de Saltillo, en especial al Dr. Eduardo Valdés Covarrubias, así como al Ing. Pablo Córdova, por las facilidades otorgadas para el uso de sus instalaciones.

A mi familia que siempre me apoyo para la realización de esta etapa especialmente a mi padre y a mi madre.

A toda aquella persona que estuvo involucrada directa o indirectamente en la realización de este proyecto.

PROLOGO

El trabajo que a continuación usted va a leer es un trabajo que promete en un tiempo no muy lejano, un avance científico dentro de la industria del vidrio, puesto que se presentan graves problemas en sus hornos debido al deterioro paulatino que sufren los ladrillos refractarios.

En esta tesis se presenta la posibilidad de mejorar el comportamiento de los refractarios AZS cuando conforman hornos y, que son los responsables de mantener al vidrio en estado fundido.

La formulación AZS 43 20 37 sinterizada en el laboratorio puede ser la punta para poder fabricar ladrillos refractarios con un tiempo de permanencia más prolongado durante la fabricación del vidrio, pero para llegar a esto es necesario estudiar de forma sistemática estos cerámicos (A-Z-S) para comprender mejor su comportamiento cuando se encuentran en contacto con el vidrio.

Cabe hacer mención que el trabajo desarrollado durante esta tesis, fue un trabajo arduo y tenaz y, los resultados obtenidos en el mismo, son un reflejo de la capacidad científica y de responsabilidad de mi estudiante.

Patricia Rodríguez López

Ciudad Universitaria

Agosto 2003