UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

DESARROLLO DE UN METODO PARA EVALUAR MATERIALES NATURALES CON POTENCIAL PUZOLANICO PARA SU USO EN CEMENTO

POR

PEDRO LEOBARDO VALDEZ TAMEZ

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de
Doctor en Ingeniería con Especialidad en Materiales

CIUDAD UNIVERSITARIA DICIEMBRE DEL 2002.

DESARROLLO DE UN METODO PARA EVALUAR MATERIALES NATURALES

CON POTENCIAL PUZOLANICO PARA SU USO EN CEMENTO

P.L.V.T.

TD
Z5853
.M2
FIME
2002
.V34
2002

1020149023

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

DESARROLLO DE UN METODO PARA EVALUAR MATERIALES NATURALES CON POTENCIAL PUZOLANICO PARA SU USO EN CEMENTO

POR

PEDRO LEOBARDO VALDEZ TAMEZ

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de
Doctor en Ingeniería con Especialidad en Materiales

CIUDAD UNIVERSITARIA DICIEMBRE DEL 2002

581885

TD
Z5853
.M2
FTME
2002
.V34

FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA EVALUAR MATERIALES NATURALES CON POTENCIAL PUZOLÁNICO PARA SU USO EN CEMENTO

POR

PEDRO LEOBARDO VALDEZ TAMEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de
Doctor en Ingeniería con Especialidad en Materiales

Diciembre de 2002

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 **"DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA EVALUAR MATERIALES NATURALES CON POTENCIAL PUZOLÁNICO PARA SU USO EN EL CEMENTO"** realizada por el MC PEDRO LEOBARDO VALDEZ TAMEZ, sea aceptada para su defensa como opción al grado de DOCTOR EN INGENIERÍA DE MATERIALES.

El Comité de Tesis

Dr. Tushar Kanti Das Roy
Asesor de Tesis

Dr. Raymundo Rivera Villarreal
Co-asesor de Tesis

Dr. Hugo Bolio Arceo
Vice-Presidente de Tecnología- CEMEX
Revisor

Dr. Alberto Pérez Unzueta
Revisor

Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez
Subdirector de Estudios de Postgrado - Revisor

Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N. L., noviembre de 2002

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Ing. Raymundo Rivera Villarreal, jefe del Departamento de Tecnología del Concreto de la Facultad de Ingeniería Civil, al Dr. Tushar K. Das del Programa Doctoral de Ingeniería de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, asesores de la presente investigación, al M. C. Ing. Químico Jorge A. Cabriales García del Centro de Investigación de Materiales de CEMEX quien coordino el proyecto ante CEMEX, los cuales invirtieron parte de su tiempo y conocimientos en la realización de la presente investigación, además a la UANL, a CEMEX y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para llevar a cabo mis estudios y elaboración de esta tesis.

También quiero agradecer al M. C. Tomás Coccio de la Facultad de Ciencias de la Tierra, por su participación en la interpretación petrográfica de parte de los materiales puzolánicos.

A todo el personal del Departamento de Tecnología del Concreto y del Centro de Investigación de Materiales de CEMEX, del laboratorio del Programa Doctoral de Ingeniería de Materiales de FIME y a el personal de los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas y aquellas personas que de alguna forma intervinieron en la realización de este trabajo.

DEDICADA A:

Mi padre

Leobardo Valdez Cano

La memoria de mi madre

Ma. Isidra Tamez de Valdez

Mi esposa

Verónica Berumen Sada

A mis hijas

Diana Valdez Berumen
Sabrina Valdez Berumen

La memoria de mis abuelos

Hermenegildo Valdez Valdez
Ma. Del Carmen Cano e
Inés Tamez

RESUMEN

Pedro Leobardo Valdez Tamez **Fecha de Terminación: Dic. de 2002**

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Titulo de la Tesis: **DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA EVALUAR MATERIALES NATURALES CON POTENCIAL PUZOLÁNICO PARA SU USO EN EL CEMENTO**

Número de páginas: 121 **Candidato para el grado de Doctor en Ingeniería con Especialidad en Materiales**

Área de Estudio: Ingeniería de Materiales

Propósito y Método del Estudio: El presente trabajo consistió en investigar la relación existente entre las propiedades físico – químicas - microestructurales de cuatro materiales naturales con propiedades puzolánicas y su reactividad tanto con el hidróxido de calcio grado reactivo como con clinker. Una de ellas con tres diferentes clinkeres. La información obtenida fue utilizada para realizar una propuesta de evaluación inicial a corto plazo.

Para la misma fineza de los diferentes materiales puzolánicos, existe una relación directa entre el área superficial, el porcentaje de matriz amorfa y la actividad puzolánica, medida como la resistencia mecánica a la compresión. Para llegar a esta afirmación se realizaron mezclas de las puzolanas con el hidróxido de calcio a las cuales se le determinó su cinética de reacción en base al consumo del hidróxido de calcio en el tiempo. Con los datos de la caracterización físico-química y de la cinética de reacción, mediante las ecuaciones correspondientes podemos establecer la mínima reactividad deseada a los siete días y por consiguiente poder seleccionar las puzolanas de origen natural a estudiar, sin embargo encontramos que aquellos materiales con relativamente alta área superficial requieren cantidades mayores de agua para la misma fluidez en las mezclas con los cementos, lo cual repercute en la potencialidad de los cementos puzolánicos.

El presente trabajo puede a ayudar a fijar parámetros de selectividad de los materiales en cuanto a sus propiedades estructurales y físicas, en vez de evaluarlos con su fineza y reactividad puzolánica a los 28 días como hace la ASTM C 618-98, ya que la industria actual requiere menores tiempos para la toma de decisiones.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo **Página**

1. Introducción 1
   - 1.1 Las Puzolanas Naturales 1
   - 1.2 El Cemento Portland y su reacción de hidratación 5
   - 1.3 La reacción puzolánica 13
2. Antecedentes 18
   - 2.1 Sinopsis sobre el uso de puzolanas naturales 18
   - 2.2 Bibliografía sobre puzolanas 21
     - 2.2.1 Generalidades 21
     - 2.2.2 Trabajos específicos 23
     - 2.2.3 Aspectos de Normatividad 26
3. Justificación del proyecto 28
4. Objetivos y metas 29
5. Desarrollo experimental 30
   - 5.1 Definición de materiales 31
   - 5.2 Preparación de materiales 32
   - 5.3 Caracterización de materiales 33
   - 5.4 Mezclado de materiales 37
     - 5.4.1 Determinación del yeso óptimo en cementos patrón 37
     - 5.4.2 Optimización de cementos patrón y puzolanas 38
   - 5.5 Caracterización de los cementos producidos 39
   - 5.6 Caracterización de un cementos producido en planta 40
   - 5.7 Pruebas de puzolanicidad con cal 41
6. Análisis y comentarios de los resultados..... 42
   - 6.1 Caracterización 42
   - 6.2 Pruebas para determinar SO_3 óptimo 46
   - 6.3 Compuestos potenciales de los cementos patrón 47
   - 6.4 Cementos patrón 47
   - 6.5 Cementos puzolánicos 49

6.6 Pruebas de puzolanicidad con cal 53
6.7 Pruebas de conductividad eléctrica (método Luxan's) 56
6.8 Método propuesto para la evaluación rápida de materiales naturales con posibilidad puzolánica para usarse en la producción de cemento puzolánico 57
7. Conclusiones 61
8. Recomendaciones 63
9. Bibliografía 64
Anexos:
Tablas 70
Gráficas 86
Imágenes 110
Resumen autobiográfico 120

LISTA DE FIGURAS

Figura #	Descripción	Página
1.	Representación esquemática del mecanismo de hidratación en sistemas C_3S – puzolanas	16
2.	Representación esquemática del mecanismo de hidratación en sistemas C_3A - puzolanas, en presencia de yeso y portlandita	17
3.	Acueductos romanos	19
4.	El Coliseo romano	19
5.	El Panteón romano	19
6.	*Pirámide de los Nichos, en El Tajin*	20
7.	Representación esquemática del desarrollo experimental	30
8.	Representación esquemática de la metodología propuesta para la evaluación rápida de puzolanas naturales para usarse en la producción de cemento puzolánico.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla #	Descripción	Página
1.	Fineza y densidades de los materiales	70
2.	Diámetro medio de los materiales molidos	70
3.	Composición química de los materiales	71
4.	Áreas superficiales y porosidades totales, determinadas por adsorción de nitrógeno y analizadas por BET	72
5.	Fases minerales y estimación del % de matriz vítrea de Puzolanas	72
6.	Descripción petrográfica de las puzolanas	73
7.	Combinación de materiales para determinar el contenido óptimo de yeso en cemento patrón "B"	74
8.	Combinación de materiales para determinar el contenido óptimo de yeso en cemento patrón "C"	74
9.	Compuestos potenciales de los cementos patrón	75
10.	Diseño de mezclas de morteros de cementos patrón	75
11.	Resistencias a la compresión del cementante CPP 30R	76
12.	Diseño de mezclas para determinar el consumo óptimo de puzolanas con el cemento patrón A	76
13.	Diseño de mezclas para determinar el consumo óptimo de la puzolana PDB con los cementos patrón B y C	77
14.	Resistencias a la compresión del cemento patrón A y con adiciones de 20, 25 y 30 % de las puzolanas PT, PDB, PHCA y PHCP	77
15.	Resistencias a la compresión del cemento patrón B y con adiciones de 20, 25 y 30 % de puzolana PDB	78

16. Resistencias a la compresión del cemento patrón C y con adiciones de 20, 25 y 30 % de puzolana PDB 78

17. Índices de actividad a la resistencia entre el cemento patrón A y con adiciones de 20, 25 y 30 % de las puzolana PT, PDB, PHCA y PHCP 79

18. Índices de actividad a la resistencia entre el cemento patrón B y con adiciones de 20, 25 y 30 % de puzolana PDB 79

19. Índices de actividad a la resistencia entre el cemento patrón C y con adiciones de 20, 25 y 30 % de puzolana PDB 80

20. Áreas superficiales de los cementantes obtenidas por método de permeabilidad al aire "Blaine" 81

21. Consistencia normal y tiempos de fraguado Vicat para cada cementante 82

22. Proporciones para la elaboración de morteros cal-puzolana y su resistencia a la compresión a los 7 días 83

23. Cinética de reacción puzolánica en pastas cal-puzolana 84

24. Conductividades iónicas de mezclas "puzolanas naturales-solución 0.5 % de NaOH" "MÉTODO LUXAN´S" 85

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica #	Descripción	Página
1.	Distribución de tamaño de partículas de las puzolanas del yeso y cementantes patrón	86
2.	Distribución de tamaño de partículas de las puzolanas	87
3.	Espectros del análisis de DRX de las puzolanas	88
4.	Resistencia a la compresión de cubos fabricados con diferentes dosis de yeso para determinar el contenido óptimo de SO_3 en el cemento patrón B	89
5.	Resistencia a la compresión de cubos fabricados con diferentes dosis de yeso para determinar el contenido óptimo de SO_3 en el cemento patrón C	90
6.	Desarrollo de la resistencia mecánica a la compresión de cementantes patrón	91
7.	Desarrollo de la resistencia mecánica a la compresión del cemento A y las sustituciones del 20, 25 y 30% por puzolana PT	92
8.	Desarrollo de la resistencia mecánica a la compresión del cemento A y las sustituciones del 20, 25 y 30% por puzolana PDB	93
9.	Desarrollo de la resistencia mecánica a la compresión del cemento A y las sustituciones del 20, 25 y 30% por puzolana PHCA	94
10.	Desarrollo de la resistencia mecánica a la compresión del cemento A y las sustituciones del 20, 25 y 30% por puzolana PHCP	95

11. Desarrollo de la resistencia mecánica a la compresión del cemento B y las sustituciones del 20, 25 y 30% por puzolana PDB 96

12. Desarrollo de la resistencia mecánica a la compresión del cemento C y las sustituciones del 20, 25 y 30% por puzolana PDB 97

13. Tiempos de fraguado Vicat en cemento patrón A y en mezclas de cemento patrón A y puzolanas 98

14. Tiempos de fraguado Vicat en cementos patrón B y C y cada sustitución respectiva de la puzolana PDB en ambos cementos 99

15. Porcentaje de Cal libre en pastas cal-puzolanas 100

16. Espectros de DRX de polvos de pastas obtenidas de mezclas cal y puzolana PT 101

17. Espectros de DRX de polvos de pastas obtenidas de mezclas cal y puzolana PDB 102

18. Espectros de DRX de polvos de pastas obtenidas de mezclas cal y puzolana PHCA 103

19. Espectros de DRX de polvos de pastas obtenidas de mezclas cal y puzolana PHCP 104

20. Definición cualitativa de zonas de consumo de las fases reactivas de la puzolana PT 105

21. Definición cualitativa de zonas de consumo de las fases reactivas de la puzolana PDB 106

22. Definición cualitativa de zonas de consumo de las fases reactivas de la puzolana PHCA 107

23. Definición cualitativa de zonas de consumo de las fases reactivas de la puzolana PHCP 108

24. Relación entre el área superficial y la actividad puzolánica con cal de las puzolanas 109

LISTA DE IMÁGENES

Imagen #	Descripción	Página
1.	Triturador de quijadas	110
2.	Pulverizador	110
3.	Molino de bolas	110
4.	Cuarteador	111
5.	Homogenizador Leeson	111
6.	Equipo de Fluorescencia de rayos X (FRX)	111
7.	Perlificadora	112
8.	Equipo Siemens 5000 utilizado para realizar la prueba de difracción de Rayos X (DRX)	112
9.	Microscopio para observación de secciones delgadas	112
10.	Equipo utilizado en pruebas de adsorción de nitrógeno	113
11.	Equipo utilizado en la determinación de la cal libre	113
12.	Microscopio electrónico de barrido	113
13.	Mezcladora estándar utilizada en la fabricación de pastas y morteros	114
14.	Mesa y equipo utilizada para obtener la fluidez de morteros	114
15.	Cámara de curado estándar	114
16.	Pila de curado, con temperatura controlada	115
17.	Equipo Blaine requerido para determinar el área superficial	115
18.	Cámara de curado para morteros y pastas fabricados con cal	115
19.	Material PT en greña	116
20.	Microfotografía del material PT en greña	116
21.	Microfotografía del material PT molido en molino de bolas	116
22.	Material PDB en greña	117
23.	Microfotografía del material PDB en greña	117

24. Microfotografía del material PDB molido en molino de bolas .. 117
25. Material PHCP en greña 118
26. Microfotografía del material PHCP en greña 118
27. Microfotografía del material PHCP molido en molino de bolas 118
28. Material PHCA en greña 119
29. Microfotografía del material PHCA molido en molino de bolas 119