



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**CARACTERIZACIÓN DE CENIZAS VOLANTES
USANDO MICROSCOPIA ELECTRONICA DE
BARRIDO (MEB) Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)**

**Por:
Dr. GABRIEL PEÑA RODRIGUEZ.
CÓDIGO 01416**

**TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA ASCENSO EN EL
ESCALAFÓN DE LA CATEGORÍA ASOCIADO A LA CATEGORÍA
TITULAR.**

SAN JOSÉ DE CÚCUTA – NORTE DE SANTANDER

Diciembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios todo poderoso por permitirme culminar este trabajo de cambio de categoría.

Al Centro de Investigación en Materiales Cerámicos de la UFPS, por permitirme realizar el trabajo experimental en sus instalaciones.

Al Termotasajero S.A. por su colaboración en el suministro de las muestras de cenizas volantes para realizar la parte experimental de este trabajo.

Al personal que labora en el CIMAC-UFPS, por su colaboración en la preparación de las muestras.

A la Universidad Nacional sede Bogotá, por su colaboración en los estudios usando MEB y DRX.

A mis colegas del departamento de física de la UFPS, y a toda la comunidad de la UFPS por su apoyo y confianza durante estos años.

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo usado por las centrales termoeléctricas, para la recolección de cenizas volantes. Fuente: http://pubs.usgs.gov/fs/fs076-01/fs076-01.pdf	10
Figura 2. Foto digital de las probeta prensadas, sin cocción y sometidas a las temperaturas de 900, 1000, 1100 y 1200 °C.	21
Figura 3. Curva de gresificación.	23
Figura 4. Elementos de la columna de un microscopio electrónico de barrido.	24
Figura 5. Principales señales producidas en la interacción de un haz de electrones con la materia.	25
Figura 6. Esquema para explicar la producción de los electrones secundarios, electrones retrodispersados y rayos X característicos.	26
Figura 7. Esquema para explicar la nomenclatura de las líneas <i>KLM</i> utilizadas en el microanálisis por EDS-SEM	28
Figura 8. Sputtering SCD-050 de la Marca Balzers.	29
Figura 9. MEB, FEI QUANTA 200. Ubicado en el CIF-UNAL-Bogotá.	29
Figura 10. Micrografía de muestra de cenizas volantes de Termotasajero S.A. a 1000X, bajo vacío y 30kV. Usando MEB. FEI Quanta. A=esferas de cenizas volantes, B= partículas de carbón o inquemados.	31
Figura 11. Micrografía de la muestra a 5000X, bajo vacío y 30kV.	33
Figura 12. Micrografía a 5000X, bajo vacío y 30 kV usando MEB FEI QUANTA 200, de una partícula de ceniza volante de Termotasajero S.A.	34
Figura 13. Micrografía del aspecto típico de una plerosfera a 1000X, bajo vacío y 30kV, usando MEB FEI QUANTA 200.	35
Figura 14. Diagrama para explicar la Ley de Bragg.	36
Figura 15. Proceso de molienda y tamizado de los polvos de cenizas volantes, para realizar las medidas experimentales usando difracción de rayos X (DRX).	38
Figura 16. El equipo de DRX utilizado (marca X-PertPRO MPD Panalytica)	39
Figura 17. Patrón de difracción de rayos X (DRX) de la muestra de ceniza volante suministrada por la empresa Termotasajero S.A.	40

Figura 18. Diagrama de tortas del porcentaje en peso (% wt) de las fases presentes en la muestra de cenizas volantes suministrada por la empresa Termotasajero S.A.	42
--	----

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición química para las cenizas volantes según la norma ASTM C-618	15
Tabla 2. Densidad aparente (D_{ap}) para las muestras en polvo de cenizas volantes (en crudo o verde y en cocción)	19
Tabla 3. Longitud de cocción (L_c), masa de cocción (M_c), porcentaje de contracción en cocción ($\%C_c$) y porcentaje de absorción de agua ($\%Abs$) de las muestras.	21

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	6
CAPITULO I. CENIZAS VOLANTES	9
1.1 Fuentes de cenizas volantes.	9
1.2 Clasificación de cenizas volantes.	11
1.3 Características de las cenizas volantes.	13
CAPITULO II. CARACTERIZACIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO S.A.	19
2.1. Propiedades físico-cerámicas	19
2.1.1. Densidad aparente.	19
2.1.2. Contracción en cocción versus absorción de agua	20
2.2. Propiedades estructurales usando microscopia electrónica de barrido (MEB).	23
2.2.1. Aspectos teóricos	23
2.2.2. Preparación de las muestras	28
2.2.3. Equipo y condiciones de medidas usadas en el MEB	29
2.2.4. Análisis de las muestras de cenizas volantes de Termotasajero S.A usando MEB.	31
2.3. Propiedades estructurales usando difracción de rayos X (DRX)	35
2.3.1. Aspectos teóricos.	35
2.3.2. Preparación de las muestras para DRX.	38
2.3.3. Análisis de las muestras de cenizas volantes de Termotasajero S.A usando DRX	40
CAPITULO III. CONCLUSIONES	44
BIBLIOGRAFIA.	