

ÍNDICE

Resumen	1
Objetivo.....	1
I Introducción	2
I.I Antimonio	2
I.I.I Propiedades físicas del Antimonio	3
I.I.II Propiedades químicas del Antimonio.....	4
I.II Ocurrencia.....	6
II Antecedentes	12
II.I Beneficio.....	13
II.I.I Flotación	14
II.I.II Separación de ganga por fusión	15
II.II La energía de microondas.....	16
II.II.I Interacción de minerales con las microondas.....	20
III. Proceso de tostación para sulfuros	22
III.I Tostación ordinaria	22
III.II Tostación de sulfuros y óxidos con microondas	25
III.III Tostación de Sb_2S_3	34

IV. Tostación volátil de Sb_2S_3 durante su tostación volátil a Sb_2O_3 en horno de resistencia eléctrica y horno de microondas	40
IV.I Objetivo de la experimentación	40
IV.II Descripción de la empresa CEMEOSA	41
IV.III Proceso de la experimentación con horno de resistencia eléctrica.....	45
IV.IV Proceso de la experimentación con horno de microondas	52
V Discusión y representación gráfica de resultados	55
V.I Discusión y representación gráfica de resultados de pruebas en horno de resistencia eléctrica	55
V.II Discusión y representación gráfica de resultados de pruebas en horno de microondas.....	60
VI. Conclusiones.....	61
Bibliografía.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Propiedades físicas del Antimonio	3
Tabla II. Propiedades físicas (térmicas y eléctricas) del Antimonio	4
Tabla III. Producción minera de Antimonio por país de 1987 a 1997 en toneladas	9
Tabla IV. Producción minera de Antimonio por país del año 2004 al 2008 en toneladas	10
Tabla V. Volumen de la producción por entidad federativa, 2005-2009, (Toneladas)	11
Tabla VI. Valor de la producción por entidad federativa, 2005-2009 (Millones de pesos)	11
Tabla VII. Propiedades del Trisulfuro de Antimonio (Sb_2S_3)	13
Tabla VIII. Características, beneficios y desventajas de las microondas en el procesamiento de materiales	18
Tabla IX. Calentamiento con microondas de algunos óxidos y sulfuros	26
Tabla X. Clasificación de algunos materiales de acuerdo a su velocidad de calentamiento...27	
Tabla XI. Minerales expuestos a la irradiación de microondas (2450 MHz, 150 W, 5 min de exposición).....	28
Tabla XII. Resultados de los experimentos del calentamiento de minerales Óxidos y de Uranio (2450 MHz, 3-5 min de exposición)	28
Tabla XIII. Resultados del calentamiento de minerales con microondas (2450 MHz, 3-5 min de exposición).....	29
Tabla XIV. Efecto de las microondas en la temperatura de reactivos, compuestos y elementos	30
Tabla XV. Efecto del calentamiento con microondas en minerales	31
Tabla XVI. Efecto del calentamiento con microondas en la temperatura de varios minerales (500 W, 2450 MHz).....	32
Tabla XVII. Índice de calentamiento de varios minerales y compuestos químicos en función de la potencia de las microondas (2450 MHz).....	33
Tabla XVIII. Especificaciones y tamaño de grano típicos del Trióxido de Antimonio	37

Tabla XIX. Análisis químico del mineral Estibinita	41
Tabla XX. Análisis granulométrico del mineral Estibinita en estudio.....	46
Tabla XXI. Análisis químico por tamaño de partícula del mineral en estudio	47
Tabla XXII. Análisis de contenido en peso del mineral en estudio.....	48
Tabla XXIII. Muestras que conformarán el compósito	49
Tabla XXIV. Masa de los tamaños de partícula que integran el compósito	49
Tabla XXV. Parámetros para las pruebas de tostación en horno de resistencia eléctrica	50
Tabla XXVI. Parámetros y resultados de las pruebas en horno de resistencia eléctrica	51
Tabla XXVII. Parámetros de las pruebas en horno de microondas	54
Tabla XXVIII. Parámetros y resultados de las pruebas en horno de microondas	54
Tabla XXIX. Resultados de las primeras 4 pruebas en horno de resistencia eléctrica	56
Tabla XXX. Porcentajes de volatilización de las pruebas 1 a 4 con horno de resistencia eléctrica	56
Tabla XXXI. Resultados de la prueba número 5.....	57
Tabla XXXII. Resultados de la prueba número 6.....	58
Tabla XXXIII. Sb ₂ O ₃ volatilizado por prueba	59
Tabla XXXIV. Parámetros y resultados de las pruebas en horno de microondas.....	60

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Horno rotatorio(1), Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles(2)	34
Imagen 2. Calentador	42
Imagen 3. Horno rotatorio	42
Imagen 4. Ductos de enfriamiento, casa de sacos y extractor	42
Imagen 5. Instalaciones de la planta de beneficio	42
Imagen 6. Trabajadores quebrando mineral	42
Imagen 7. Bultos con Trióxido de Antimonio	42
Imagen 8. Laboratorio de Metalurgia, Facultad de Ingeniería, UNAM	45
Imagen 9. Horno de resistencia eléctrica.....	45
Imagen 10. Termopar de cromo-alúmina.....	45
Imagen 11. Controlador de temperatura “EMCO ESM-4450 Process controller”	45
Imagen 12. Muestreo y cuarteo del mineral en el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería, UNAM	46
Imagen 13. Clasificación del mineral por tamaño	46
Imagen 14. Horno rotatorio de resistencia eléctrica a 400 °C.....	51
Imagen 15. Salida de Trióxido de Antimonio	51
Imagen 16. Tapa del horno del extremo de salida del Trióxido de Antimonio.....	52
Imagen 17. Tapa del horno del extremo de alimentación del mineral.....	52
Imagen 18. Laboratorio, Facultad de Química, UNAM	52
Imagen 19. Horno de microondas Sharp modelo R-4A46	52
Imagen 20. Mineral dentro del tubo de cuarzo.....	53
Imagen 21. Cronómetro del horno de microondas.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de comportamiento frente a las microondas	17
Figura 2. Clasificación de las radiaciones mostrando la frecuencia y rango.....	17
Figura 3. Horno rotatorio (1), Horno de pisos (2), Horno flash (3), Horno de fluidificación (4), Tostado de tiro (sinterizado o banda sinter) (5)	23
Figura 4. Representación del sistema para la tostación en horno de microondas	53

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Producción Nacional Anual en toneladas. [13].....	11
Gráfica 2. Porcentajes de Sb por tamaño de partícula	48
Gráfica 3. Porcentaje de volatilización de las pruebas 1 y 2 con temperatura y rotación constantes en 400°C y 1 rpm.....	57
Gráfica 4. Porcentaje de volatilización de las pruebas 3 y 4 con temperatura y rotación constantes en 300°C y 1 rpm.....	57
Gráfica 5. Porcentaje de volatilización de las pruebas 2,3 y 5 con tiempo y rotación constantes en 2hr y 1 rpm.....	58
Gráfica 6. Porcentaje de volatilización de las pruebas 2 y 6 con tiempo y temperatura constantes en 2hr y 400°C.....	59

