

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. OBJETIVOS	4
4.1 Objetivo general	4
4.2 Objetivos específicos	4
5. ACERIAS DE CALDAS S.A.	5
5.1 Historia	5
5.2 Misión	7
5.3 Visión	7
6. HISTORIA DEL HORNO ELÉCTRICO DE ARCO	7
6.1. Ventajas del horno eléctrico de arco	9
7. IMPUREZAS DEL ACERO	11
8. OBTENCION DE ACERO EN HORNO ELÉCTRICO	11
9. FABRICACIÓN DEL ACERO EN HORNO ELÉCTRICO DE ARCO	12
9.1 Proceso con horno eléctrico de arco básico	12
9.1.1 Utilización de chatarra	12
9.1.2 Métodos para garantizar una apropiada selección de la chatarra	13
9.1.3. Selección de la chatarra a cargar	13
9.1.4 Cargando el horno	14
9.1.5 Periodo de fundición y/o oxidación	15
9.1.6 Afino	16
9.1.7 Estudio teórico del afino	18
9.1.7.1 Carbono	18
9.1.7.2 Silicio	18
9.1.7.3 Manganeso	18
9.1.7.4 Fósforo	19
9.1.7.5 Azufre	21
9.1.8 Marcha general del afino	24
9.1.8.1 Fase oxidación	25

9.1.8.2 Fase reducción	27
9.1.8.2.1 Desulfuración	27
9.1.8.2.2 Desoxidación del FeO	28
9.1.9 Estructura de escorias líquidas	28
9.1.9.1 Control de la escoria en el proceso básico	31
9.1.10 Fundamentos de escoria espumosa y su aplicación práctica para la fabricación de acero en horno eléctrico	34
9.1.11 Balances de masa aproximados para calcular la composición de la escoria	35
9.1.12 Uso del sistema CaO-MgO-FeO-SiO <sub>2</sub> para determinar los niveles de saturación de MgO	37
9.1.13 Desarrollo de un modelo de escoria espumosa utilizando balances de masa aproximados	41
9.1.13.1 Aplicación del modelo de escoria espumosa	41
9.2 Principios de la desulfuración	43
9.2.1 Capacidad de sulfuro	43
10. SEGUIMIENTO DEL PROCESO	45
10.1 Proceso de fabricación de acero en Acerías de Caldas S.A.	45
10.1.1 Preparación de Chatarra	45
10.1.1.1 Equipos Utilizados	46
10.1.2 Fabricación De Acero En Horno Eléctrico	46
10.1.2.1 Proceso de Afino	47
10.1.2.2 Clases de Acero Producidas en el Afino	47
10.2. Seguimiento del proceso	49
10.3. Análisis y detección de problemas de proceso	49
10.3.1. Características del Proceso	49
10.3.2. Problemas del Proceso	51
10.3.3 Variables a medir durante el afino	53
11. METODOLOGIA	53
11.1. Etapa de fusión	56
11.2. Etapa de oxidación	61
11.3. Desoxidación-desulfuración	68

11.3.1. Reacciones involucradas en el proceso de desulfuración	71
11.3.2. Cálculos de las energías libres de gibbs	72
12. ANALISIS DE RESULTADOS	85
12.1. Etapa de fusión	85
12.2. Etapa de oxidación	87
12.3. Desoxidación-desulfuración	90
13. CONCLUSIONES	96
14. RECOMENDACIONES	97
15. BIBLIOGRAFÍA	98
16. ANEXOS	
1. GLOSARIO	
2. NORMA DE LA FABRICACION DEL ACERO LÍQUIDO EN ACERIAS DE CALDAS S.A.	
3. CUADRO DE COMPOSICIÓN QUIMICA DEL ACERO.	
4. CURVAS DE ENERGÍA LIBRE DE GIBBS DE LAS REACCIONES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE DESULFURACIÓN	
5. COEFICIENTES DE INTERACCION DE PRIMER ORDEN EN ACERO LÍQUIDO	
6. ENERGIAS LIBRES ESTANADARES DE ELEMENTOS DISUELTOS EN ACERO LÍQUIDO.	
7. DATOS TERMODIANMICOS DE ALGUNOS ELEMENTOS Y COMPUESTOS QUE SE ENCUENTRAN EN PROCESOS METALURGICOS.	
8. RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SULFURO CON LA COMPOSICIÓN DE LA ESCORIA PARA EL SISTEMA $Al_2O_3$ -CaO-MgO-SiO <sub>2</sub> PARA UN TENOR DE 10% Y 12% DE MgO, A 1600°C.	

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Fig.1</b> Sección esquemática de un horno eléctrico de arco indicando los refractarios típicos utilizados: izquierda refractario ácido, derecha refractario básico	10
<b>Fig.2</b> Distribución del fósforo entre la escoria y el metal a 1600°C con relación a la influencia del aumento del FeO y la basicidad de la escoria	20
<b>Fig.3</b> Efecto del contenido de oxígeno y la basicidad de la escoria en la distribución del azufre	23
<b>Fig.4</b> Datos de oxígeno-carbono par el periodo reductor en el horno eléctrico	24
<b>Fig.5</b> Sistema FeO-MgO-CaO-SiO <sub>2</sub>	38
<b>Fig.6</b> Diagrama con líneas de saturación de MgO	39
<b>Fig.7</b> Diagrama con líneas de saturación de CaO	40
<b>Fig.8</b> Solubilidad de MgO en escorias con saturación dual con respecto al índice de Basicidad (CaO/SiO <sub>2</sub> ) a 1600°C	41
<b>Fig.9</b> Curvas de capacidad de sulfuro para escorias del sistema CaOAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -MgO a 1600°C. Los valores numéricos muestran los valores de Log Cs	44
<b>Fig.10</b> Curvas de capacidad de sulfuro de escorias del sistema CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> a 1600°C	45
<b>Fig.11</b> Patio de preparación de chatarra	46
<b>Fig.12</b> Horno eléctrico de arco	52
<b>Fig.13</b> sistema CaO-MgO-SiO <sub>2</sub> -FeO con línea de basicidad de 1.8	58

<b>Fig.14</b> sistema CaO-MgO-SiO <sub>2</sub> -FeO con línea de basicidad de 1.5	60
<b>Fig.15</b> Datos de Carbono-oxigeno durante el periodo de oxidación	68
<b>Fig. 16</b> Sistema CaO-MgO-SiO <sub>2</sub> -FeO con línea de basicidad de 3.0	70
<b>Fig.17</b> Espectro Obtenido de la colada 29329 con la técnica SEM/EDAX	86
<b>Fig.18</b> Espectro Obtenido de la colada 29330 con la técnica SEM/EDAX	87
<b>Fig.19</b> espectro de la colada 29333 obtenida con la técnica SEM/EDAX	94
<b>Fig.20</b> espectro de la colada 29334 obtenido con la técnica SEM/EDAX	94

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla 1</b> Afinidades de las impurezas con el oxígeno	26
<b>Tabla 2.</b> Composición típica de escoria después de terminado la fundición	32
<b>Tabla 3.</b> Composición típica de la escoria reductora.	33
<b>Tabla 4.</b> Composición típica de escoria cal – sílice sin adición de carbono	34
<b>Tabla 5.</b> Variables a medir durante el afino	53
<b>Tabla 6</b> Datos termodinámicos de algunos elementos y compuestos en la fabricación de acero	61
<b>Tabla 7.</b> Coeficientes de interacción de primer orden $e_j^i$ en acero líquido	66
<b>Tabla 8</b> Composición porcentual típica de una colada en esta etapa del proceso	66
<b>Tabla 9</b> Datos de carbono y oxígeno durante el periodo de oxidación	68
<b>Tabla 10</b> Datos termodinámicos de algunos elementos y compuestos en la fabricación de acero	73
<b>Tabla 11.</b> Datos termodinámicos de algunos elementos y compuestos en la fabricación de acero	77
<b>Tabla 12</b> datos de las coladas 29329 y 29330 obtenidos con la técnica SEM/EDAX	86
<b>Tabla 13</b> datos de las coladas 29333 y 29334 obtenidos con la técnica de SEM/EDAX	93