



**REPÚBLICA DEL ECUADOR**

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**

**TÍTULO DE:**

**MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

**TEMA:**

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE  
ELABORACIÓN DE ACERO DE MEDIO Y BAJO CARBONO EN UNA  
EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN MILAGRO**

**AUTOR:**

**ING. SOLÓRZANO SUAREZ JORGE LUIS**

**DIRECTOR:**

**ING. LOPEZ BRIONES JOHNNY RODDY, MGTR.**

**MILAGRO, 2022**

## ACEPTACION DEL TUTOR

En calidad de Tutor de Proyecto de Investigación, nombrado por el Comité Académico del Programa de Maestría en Producción y Operaciones Industriales de la Universidad Estatal de Milagro.

### CERTIFICO

Que he analizado el Proyecto de Investigación con el tema de proyecto de grado **“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE ELABORACIÓN DE ACERO DE MEDIO Y BAJO CARBONO EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN MILAGRO”** presentado por el **ING. JORGE LUIS SOLORZANO SUAREZ**, para optar al título de **MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES** y que acepto tutoriar al estudiante, durante la etapa del desarrollo del trabajo hasta su presentación, evaluación y sustentación.

Milagro, a los 18 días del mes de julio del 2022



Firmado electrónicamente por:  
**JOHNNY RODDY  
LOPEZ BRIONES**

---

ING. JOHNNY RODDY LOPEZ BRIONES, MGTR.

C.I 0906022033

## DECLARACIÓN DE LA AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de esta investigación declara ante el Comité Académico del Programa de Maestría en Producción y Operaciones Industriales de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el cual se encuentra referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier Título o Grado de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 11 días del mes de noviembre del 2022



Firmado electrónicamente por:  
**JORGE LUIS  
SOLORZANO  
SUAREZ**

---

ING. SOLORZANO SUAREZ JORGE LUIS

CI: 0929136059

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**ACTA DE SUSTENTACIÓN**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

En la Dirección de Posgrado de la Universidad Estatal de Milagro, a los once días del mes de noviembre del dos mil veintidos, siendo las 14:00 horas, de forma VIRTUAL comparece el/la maestrante, ING. SOLORZANO SUAREZ JORGE LUIS, a defender el Trabajo de Titulación denominado " **ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE ELABORACIÓN DE ACERO DE MEDIO Y BAJO CARBONO EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN MILAGRO**", ante el Tribunal de Calificación integrado por: Mtadm ZAMBRANO BURGOS VELASCO RIGOBERTO, Presidente(a), Mg LEON BATALLAS ALBERTO ANDRES en calidad de Vocal; y, M.A.E. MENDOZA HARO EDGAR ITALO que actúa como Secretario/a.

Una vez defendido el trabajo de titulación; examinado por los integrantes del Tribunal de Calificación, escuchada la defensa y las preguntas formuladas sobre el contenido del mismo al maestrante compareciente, durante el tiempo reglamentario, obtuvo la calificación de: **90.67** equivalente a: **MUY BUENO**.

Para constancia de lo actuado firman en unidad de acto el Tribunal de Calificación, siendo las 15:00 horas.



Firmado electrónicamente por:  
VELASCO RIGOBERTO  
ZAMBRANO BURGOS

---

Mtadm ZAMBRANO BURGOS VELASCO RIGOBERTO  
**PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
ALBERTO ANDRES  
LEON BATALLAS

---

Mg LEON BATALLAS ALBERTO ANDRES  
**VOCAL**



Firmado electrónicamente por:  
EDGAR ITALO  
MENDOZA HARO

---

M.A.E. MENDOZA HARO EDGAR ITALO  
**SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
JORGE LUIS  
SOLORZANO  
SUAREZ

---

ING. SOLORZANO SUAREZ JORGE LUIS  
**MAGISTER**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedico a Dios, por ser el motor de mi inspiración y rodearme de sus bendiciones para culminar con éxito este proyecto de investigación. A mi esposa por estar siempre apoyándome en las diferentes etapas de mi vida, que con su infinito amor y respaldo me permite seguir alcanzando mis objetivos.

Ing. Ind. Jorge Luis Solorzano Suarez

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a las personas que hicieron posible la culminación de este trabajo de titulación. A mi esposa por el respaldo que me brindó y me ayudó hacer realidad esta meta, a pesar de los obstáculos que se nos presentaba, los cuales fuimos capaces de superarlos en conjunto para así convertir una meta cumplida.

Ing. Ind. Jorge Luis Solorzano Suarez

## **CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR**

**DOCTOR**

**Ph. D. FABRICIO GUEVARA VIEJÓ**

**RECTOR DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO**

**PRESENTE.**

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente se procede hacer la entrega de la Cesión de Derecho del Autor del Trabajo realizado como requisito previo para la obtención de título de cuarto nivel, cuyo tema fue **“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE ELABORACIÓN DE ACERO DE MEDIO Y BAJO CARBONO EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN MILAGRO”**, y que corresponde al Vicerrectorado de Investigación y Postgrado

Milagro, 11 de noviembre del 2022



firmado electrónicamente por:  
**JORGE LUIS  
SOLORZANO  
SUAREZ**

---

**SOLORZANO SUAREZ JORGE LUIS**

CI: 0929136059

## ÍNDICE GENERAL

<b>ACEPTACION DEL TUTOR</b> .....	ii
<b>DECLARACIÓN DE LA AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	iii
<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vi
<b>CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR</b> .....	vii
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xvi
<b>RESUMEN</b> .....	xix
<b>ABSTRACT</b> .....	xx
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	3
<b>EL PROBLEMA</b> .....	3
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	3
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b> .....	3
<b>1.1.2 SITUACIÓN CONFLICTO</b> .....	8
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	8
<b>1.2.1 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	8



1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	9
1.2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	9
1.2.4 EVALUACIÓN DEL PROBLEMA .....	10
1.3 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE .....	10
1.3.1 JUSTIFICACIÓN .....	10
1.3.2 ALCANCE .....	11
1.4 OBJETIVOS.....	11
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	11
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
CAPÍTULO II.....	13
MARCO REFERENCIAL .....	13
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	13
2.2 MARCO TEÓRICO .....	15
2.2.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....	15
2.2.2 ESTUDIO DE MÉTODO .....	19
2.2.3 DIAGRAMA DEL FLUJO DE OPERACIONES ACTUAL.....	27
2.2.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ACTUAL.....	28
2.3 MARCO CONTEXTUAL.....	29
2.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PRODUCCIÓN .....	29
2.3.2 DIAGRAMA PEPSIC .....	35
2.3.3 CADENA DE VALOR DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	36
2.3.4 SITUACIÓN ACTUAL DEL ENTORNO DE LA PRODUCCIÓN .....	37

<b>2.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>82</b>
<b>2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL .....</b>	<b>82</b>
<b>2.4.2 HIPÓTESIS PARTICULAR.....</b>	<b>83</b>
<b>2.4.3 DECLARACIÓN DE VARIABLES.....</b>	<b>83</b>
<b>2.4.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>84</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>86</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>86</b>
<b>3.1 LOS MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>86</b>
<b>3.1.1 MÉTODOS INDUCTIVO-DEDUCTIVO .....</b>	<b>87</b>
<b>3.1.2 TEMPORALIDAD Y ORIENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ....</b>	<b>88</b>
<b>3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>88</b>
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>90</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>90</b>
<b>4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS PARA EL PROCESO DE FORMACIÓN DE ESCORIA ESPUMOSA BALANCE DE MASA PARA ACEROS DE SAE CON CONTENIDO DE MEDIO CARBONO.....</b>	<b>93</b>
<b>4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS PARA EL PROCESO DE DESOXIDACIÓN DEL ACERO .....</b>	<b>111</b>
<b>4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS PARA EL PROCESO DE OPERACIÓN DE CUCHARAS. .....</b>	<b>119</b>

<b>CAPÍTULO V</b> .....	136
<b>5.1 PROPUESTA DEL PROYECTO</b> .....	136
<b>5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO</b> .....	136
<b>5.1.2 DIAGRAMA DEL FLUJO DE OPERACIONES PROPUESTO</b> .....	167
<b>5.1.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PROPUESTO</b> .....	170
<b>5.2. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS EN LA MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO</b> .....	171
<b>CONCLUSIONES</b> .....	179
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	182
<b>ANEXOS</b> .....	184
<b>FORMATO DE TABLA DE VALIDACIÓN DE ANÁLISIS DE EXPERTOS...</b>	187
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	188

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Diagrama PEPSC.....	35
<b>Tabla 2.</b> Ítems de estudio para la gestión de costos de producción del área de fundición .....	37
<b>Tabla 3.</b> Costos consolidados de la cadena de valor del área de fundición de los meses de mayo, junio y julio 2020.....	38
<b>Tabla 4.</b> Perfil de fusión del horno de arco eléctrico Cesta 1 .....	42
<b>Tabla 5.</b> Perfil de fusión del horno de arco eléctrico Cesta 2.....	43
<b>Tabla 6.</b> Perfil de fusión del horno de arco eléctrico Cesta 3.....	44
<b>Tabla 7.</b> Perfil de fundición del horno de arco eléctrico etapa de afino .....	45
<b>Tabla 8.</b> Estabilidad de óxidos en escorias .....	59
<b>Tabla 9.</b> Datos de fusión de colada utilizados en una colada del año 2020.....	67
<b>Tabla 10.</b> Tabla de insumos de utilizados para la formación de escoria espumosa utilizados actualmente para SAE de medio y bajo carbono. ....	68
<b>Tabla 11.</b> Tipos de escoria según la basicidad binaria de las coladas en el año 2020...	68
<b>Tabla 12.</b> Composición de la escoria de las coladas del mes de mayo del 2020.....	68
<b>Tabla 13.</b> Propiedades de la escoria calculas del mes de mayo del 2020.....	69
<b>Tabla 14.</b> Composición de componentes químicos en ferroaleaciones .....	73
<b>Tabla 15.</b> Temperatura de vaciado del EAF para aceros de bajo y medio carbono .....	79
<b>Tabla 16.</b> Tabla de muestreo con baja temperatura de llegada al horno cuchara para aceros de medio carbono. ....	79
<b>Tabla 17.</b> Tabla de muestreo con baja temperatura de llegada al horno cuchara para aceros de bajo carbono. ....	80
<b>Tabla 18.</b> Operacionalización de variables.....	84
<b>Tabla 19.</b> Datos para el cálculo de la muestra .....	89

<b>Tabla 20.</b> Tabla de formato de evaluación de instrumentos utilizados en la investigación .....	91
<b>Tabla 21.</b> Tabla de cálculo de coeficiente de validez de contenido.....	92
<b>Tabla 22.</b> Comparativo de escorificantes en el 2020 y la propuesta para los SAE de medio carbono. ....	93
<b>Tabla 23.</b> Balance de masa .....	94
<b>Tabla 24.</b> Propiedades de la escoria calculadas de las coladas de prueba para SAE de medio carbono. ....	97
<b>Tabla 25.</b> Comparativo de escorificantes en el 2020 y la propuesta para los SAE de bajo carbono. ....	102
<b>Tabla 26.</b> Balance de masa .....	102
<b>Tabla 27.</b> Propiedades de la escoria calculadas de las coladas de prueba para SAE de bajo carbono. ....	105
<b>Tabla 28.</b> Característica de contenido de FeO, MgO y CaO en la escoria de las coladas para SAE bajo carbono. ....	108
<b>Tabla 29.</b> Tabla de refractario en el EAF formado buena escoria espumosa y controlando la basicidad del EAF y la saturación del MgO .....	110
<b>Tabla 30.</b> Tabla de componentes y rendimiento, de las ferroaleaciones y desoxidantes. ....	112
<b>Tabla 31.</b> Tabla de primeras muestras de coladas LF con nueva ruta de adiciones con uso de carburo de silicio y FeSiMn de acero en SAE 1026 .....	117
<b>Tabla 32.</b> Tabla de materiales y costo de ladrillos dolomítico .....	119
<b>Tabla 33.</b> Tabla de comparación de vida útil de cucharas y costo .....	120
<b>Tabla 34.</b> Temperatura de vaciado del EAF para cucharas dolomíticas.....	121
<b>Tabla 35.</b> Tabla de estandarización de temperatura de subida del LF a CCM.....	122

<b>Tabla 36.</b> Tabla de muestreo sin procedimientos de vaciado de acero liquido .....	123
<b>Tabla 37.</b> Muestras con procedimiento de vaciado de acero liquido.....	124
<b>Tabla 38.</b> Tabla de relación de Spearman.....	127
<b>Tabla 39.</b> Verificación de hipótesis general .....	127
<b>Tabla 40.</b> Verificación de hipótesis particular 1 .....	129
<b>Tabla 41.</b> Verificación de hipótesis particular 2.....	130
<b>Tabla 42.</b> Verificación de hipótesis particular 3.....	132
<b>Tabla 43.</b> Verificación de hipótesis particular 4.....	133
<b>Tabla 44.</b> Análisis de fiabilidad del Alfa de Cronbach.....	135
<b>Tabla 45.</b> Tabla de Interpretación del coeficiente de confiabilidad.....	135
<b>Tabla 46.</b> Comparativo de escorificantes en el 2020 y la propuesta actual para los SAE de medio carbono.....	137
<b>Tabla 47.</b> Comparativo de escorificantes en el 2020 y la propuesta actual para los SAE de bajo carbono.....	137
<b>Tabla 48.</b> Tabla de comparación de refractario en el EAF sin controlada y controlando la basicidad del EAF y la saturación del MgO .....	138
<b>Tabla 49.</b> Ruta de adición de materiales para aceros de medio carbono para SAE 1026 actual.....	139
<b>Tabla 50.</b> Propuesta de ruta de adición de materiales para aceros de medio carbono .	140
<b>Tabla 51.</b> Tabla de materiales y costo de ladrillos básicos.....	145
<b>Tabla 52.</b> Tabla de materiales y costo de ladrillos dolomítico .....	147
<b>Tabla 53.</b> Tabla de ahorro de costos en dólares por toneladas .....	148
<b>Tabla 54.</b> Tabla de comparación de costos de cucharas .....	148
<b>Tabla 55:</b> Tabla de procedimiento de calentamiento inicial para arranque de cucharas .....	151

<b>Tabla 56.</b> Tabla de enfriamiento de cuchara previo al vaciado del EAF.....	155
<b>Tabla 57.</b> Tabla de uso de tapas de cucharas .....	156
<b>Tabla 58:</b> Tabla de check list de preparación de cuchara .....	160
<b>Tabla 59.</b> Estandarización de temperatura de vaciado del EAF .....	163
<b>Tabla 60.</b> Tabla de estandarización de temperatura de subida del LF a CCM.....	164
<b>Tabla 61.</b> Tabla de comparación de costo actual y costo propuesto de cal cálcica y cal dolomítica en medio actual y bajo carbono. ....	172
<b>Tabla 62.</b> Tabla de ahorro de energía eléctrica con procedimientos de vaciado para aceros de medio y bajo carbono. ....	172
<b>Tabla 63.</b> Comparación de costos desoxidantes para acero de medio carbono SAE 1026 .....	173
<b>Tabla 64.</b> Tabla de ahorro de costos en dólares por toneladas por tipo de cuchara.....	174
<b>Tabla 65.</b> Ítems de uso para el mantenimiento de refractario en el horno de arco eléctrico .....	175
<b>Tabla 66.</b> Tabla de comparación de costo actual vs costo propuesto para el mantenimiento de ladrillo refractario del horno de arco eléctrico.....	177
<b>Tabla 67.</b> Tabla de comparación de flujo de proceso actual vs el propuesto .....	178

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Producción mundial de acero .....	4
<b>Figura 2.</b> Patio de carga de cestas .....	21
<b>Figura 3.</b> Horno de arco eléctrico (Electric Arc Furnace) .....	22
<b>Figura 4.</b> Horno cuchara (Ladle Furnace) .....	23
<b>Figura 5.</b> Área de colada continua, parte superior .....	24
<b>Figura 6.</b> Área de colada continua, parte inferior .....	26
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo de operaciones actual .....	27
<b>Figura 8.</b> Cadena de Valor del proceso productivo general .....	36
<b>Figura 9.</b> Componentes del horno de arco eléctrico .....	41
<b>Figura 10.</b> Ejemplo de etapas de fundición del horno de arco eléctrico desde la carga de chatarra hasta el vaciado .....	41
<b>Figura 11.</b> Oxidación de los diferentes compuestos del acero en la etapa de afino del horno de arco eléctrico .....	49
<b>Figura 12.</b> Escoria Espumosa en la etapa de afino del EAF.....	52
<b>Figura 13.</b> Solubilidad de óxido de magnesio (MgO) para escorias con doble saturación respecto a óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO) a 1600°C .....	55
<b>Figura 14.</b> Medición de temperatura de acero líquido en horno de arco eléctrico. ....	57
<b>Figura 15.</b> Máquina Heraus receptora de señal de medición de temperatura y nivel de oxidación del acero líquido en la etapa de afino .....	58
<b>Figura 16.</b> Equipo analizador de escoria S2 puma Marca Bruker .....	58
<b>Figura 17.</b> Equilibrio de la escoria con el acero .....	60
<b>Figura 18.</b> Diagramas de estabilidad isotérmica (ISD) para basicidades binarias de 1.5 a una temperatura de 1600 °C, Donde $C_2S=Ca_2SiO_4$ , MW = Magnesio-Wustita y L = líquido. Fuente: Petrorius, EB y Carlisle.....	62



<b>Figura 19.</b> Diagramas de estabilidad isotérmica (ISD) para basicidades binarias de 2 a 2.5 a una temperatura de 1600 °C, Donde C2S=Ca2SiO4, MW = Magnesio-Wustita y L = líquido.....	63
<b>Figura 20.</b> Refractario del horno de arco eléctrico sin controlar la basicidad y saturación del MgO (oxido de magnesio).....	71
<b>Figura 21.</b> Ilustración de simulación de vaciado de acero líquido desde el horno eléctrico a cuchara .....	74
<b>Figura 22.</b> Diagrama de flujo de proceso-Operación de cucharas-Condiciones de operación normal .....	77
<b>Figura 23.</b> Diagrama de flujo de proceso-Operación de cucharas-Condición de operación en mantenimiento durante el proceso de producción.....	78
<b>Figura 24.</b> Ejemplo de ilustración de vaciado de horno eléctrico a cuchara .....	116
<b>Figura 25.</b> Ejemplo de un resultado de composición química de colada de acero de SAE 1026 de llegada al horno cuchara mediante equipo de medición de composición química .....	118
<b>Figura 26.</b> Diagrama de flujo de proceso actual-Condición de operación en mantenimiento durante el proceso productivo.....	141
<b>Figura 27.</b> Diagrama de flujo de proceso propuesto-Condición de operación en mantenimiento durante el proceso productivo.....	142
<b>Figura 28.</b> Diagrama de flujo de proceso actual-Condición de operación normal de cucharas .....	143
<b>Figura 29.</b> Diagrama de flujo de proceso propuesto-Condición de operación normal de cucharas .....	144
<b>Figura 30.</b> Cuchara de reserva .....	145
<b>Figura 31.</b> Fin de campaña de cucharas .....	149

<b>Figura 32.</b> Diagrama de calentamiento de cuchara sin aislante térmico .....	150
<b>Figura 33.</b> Diagrama de calentamiento de cuchara con aislante térmico .....	151
<b>Figura 34.</b> Curva de calentamiento de refractario dolomítico.....	153
<b>Figura 35.</b> Comparación de tipo de calentamiento .....	154
<b>Figura 36.</b> Coating en cucharas .....	159
<b>Figura 37.</b> Diseño de un revestimiento de cuchara vista de alzado.....	159
<b>Figura 38.</b> Diseño de un revestimiento de cuchara vista de planta .....	160
<b>Figura 39.</b> Palanquilla con perforación por temperatura inadecuada .....	165
<b>Figura 40.</b> Palanquilla con romboides alta por temperatura inadecuada.....	165
<b>Figura 41.</b> Control de curva de calentamiento de cuchara .....	166
<b>Figura 42.</b> Diagrama de flujo de operaciones actual .....	167
<b>Figura 43.</b> Diagrama de flujo de operaciones propuesto.....	168
<b>Figura 44.</b> Diagrama de flujo de proceso actual.....	169
<b>Figura 45.</b> Diagrama de flujo de proceso propuesto .....	170

## RESUMEN

El desarrollo de este proyecto se enfoca en el análisis de la eficiencia del proceso productivo de elaboración de acero de medio y bajo carbono en una empresa siderúrgica ubicada en milagro, la investigación que se ha desarrollado es de tipo de campo y documental, como técnica de investigación se utilizó la observación y experimentación. La metodología utilizada fue hipotético-deductivo e inductivo-deductiva, el manejo de hipótesis determina la fijación de variables y el nivel de incidencia de una de ellas sobre la otra, a lo que se considera como causa-efecto. Para realizar la verificación de la información y resultados obtenidos se utilizó un análisis de expertos, para medir el grado de asociación de las variables se utilizó coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman. Se obtuvo como valor de coeficiente Rho de Spearman 0.874 y nivel de significancia de 0,000. La validación de hipótesis y encontrado el P-valor ( $\text{Sig}=0,000$ )  $< \alpha=0,005$  permitió rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, se utilizó el coeficiente de alfa de Cronbach para comprobar los resultados obtenidos de las variables independientes analizadas, este coeficiente se encuentra en 0,97 lo cual es un rango de confiabilidad muy alta, por lo tanto existe suficiente evidencia estadística que permite afirmar que un sistema de mejora adecuado en el proceso productivo beneficiará la eficiencia en la elaboración de acero de medio y bajo carbono, generando un mayor rango de ganancia en el precio de venta por producto, obteniendo un producto con calidad competitivo en el mercado a un costo menor de producción.

**Palabras Claves:** Medición, metodología, costos, producción, fundición.

## ABSTRACT

The development of this project focuses on the analysis of the efficiency of the production process for the production of medium and low carbon steel in a steel company located in Milagro, the research that has been developed is of the field and documentary type, as a technique of research was improved observation and experimentation. The methodology used was hypothetical-deductive and inductive-deductive, the management of hypotheses determines the setting of variables and the level of incidence of one of them over the other, which is considered as cause-effect. To verify the information and the results obtained, an expert analysis was obtained, to measure the degree of association of the variables, Spearman's non-parametric conduction coefficients were obtained. Spearman's Rho coefficient value of 0.874 and significance level of 0.000 were obtained. The validation of hypothesis and found the P-value ( $\text{Sig}=0.000$ )  $< \alpha=0.005$  rejected the null hypothesis, therefore, Cronbach's alpha coefficient was reduced to verify the results obtained from the independent variables analyzed, this coefficient is found in 0.97 which is a very high reliability range, therefore there is sufficient statistical evidence to affirm that an adequate improvement system in the production process will benefit the efficiency in the production of medium and low carbon steel, showing a higher range of profit in the sale price per product, obtaining a product with competitive quality in the market at a lower production cost.

**Keywords:** Measurement, methodology, costs, production, foundry.

## INTRODUCCIÓN

La producción del acero a nivel mundial se ha incrementado, por motivos que ahora existe una mayor demanda por parte de la población, desde una perspectiva nacional, las ventas externas de productos derivados de acero en Ecuador aumentaron un 22,1% interanual. El principal problema que se suscita desde el punto de vista local es la comparación de los costos de producción de acero con referente a la competencia son bajos, debido a que estas ofrecen productos a menor precio, siendo una desventaja con referente a lo que es el poder de venta por parte de la compañía. El trabajo investigativo está enfocado en el área de producción de una fundidora ubicada en el cantón Milagro durante el año 2020. La nueva planta de fundición en la cual se realiza el estudio de la presente investigación inicio de sus operaciones en el año 2016 y se ha encontrado con muchos retos a lo largo del tiempo entre ellos: Preparación de personal, cambio de dimensiones de equipos productivos, mejoras en el área de seguridad industrial y medio ambiente, entre otras. Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación, ¿De qué manera incide realizar el análisis de la eficiencia del proceso productivo tomando en cuenta las categorías del materiales, medición y métodos?, el presente estudio investigativo tiene como objetivo fundamentar de manera teórica la elaboración de un análisis de la eficiencia del proceso productivo de elaboración de acero de medio y bajo carbono en un empresa siderúrgica ubicada en Milagro, la estructura investigativa se encuentra planteada en cinco capítulos, de la siguiente forma:

Capítulo I: Contiene el problema de investigación, descripción de la situación actual, situación conflicto, planteamiento del problema, formulación del problema, evaluación del problema, justificación e importancia, importancia, alcance, objetivo general, objetivos específicos.

Capítulo II: Aborda temas relacionados con el estado del arte, marco teórico, marco contextual, hipótesis y variables.

Capítulo III: Describe el marco metodológico, los métodos de investigación, temporalidad y orientación de la investigación.

Capítulo IV: Establece el análisis e interpretación de los resultados, análisis comparativo, evolución, tendencia y perspectivas para el proceso de formación de escoria espumosa, desoxidación del acero y proceso de operación de cucharas.

Capítulo V: Plantea la propuesta del proyecto de investigación, descripción del procedimiento propuesto, diagrama de flujo de operaciones propuesto, diagrama de flujo de proceso propuesto, análisis y comparación de costos en la mejora de procesos  
Conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

##### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

La utilización del acero es considerado como uno de los avances más significativos de la humanidad en la historia, debido a que su utilización interviene en diferentes áreas de aplicación, sin embargo, cada vez es más complicado obtener productos derivados del acero, por lo tanto, es necesario llegar a la optimización del uso de los recursos empleados para su fabricación, la industria del acero a nivel mundial tuvo un punto bajo en ventas en el año 2019 como se muestra en la figura 1, a causa de diversas condiciones favorables y también interviniendo los problemas comerciales entre Estados Unidos y China, alcanzando una producción de 60,7 Mt. (Souza, 2020)

Millones de toneladas / Million tons País/Country	2018		2019	
	Ranking	Volumen	Ranking	Volumen
China	1	996,3	1	920
India/India	2	111,2	2	109,3
Japón/Japan	3	99,3	3	104,3
Estados Unidos/United States	4	87,8	4	86,6
Rusia/Russia	5	71,9	5	72,1
Corea del Sur/South Korea	6	71,4	6	72,5
Alemania/Germany	7	39,7	7	42,4
Turquía/Turkey	8	33,7	8	37,3
Brasil/Brazil	9	32,2	9	35,4
Irán/Iran	10	25,6	10	24,5
Italia/Italy	11	23,2	11	24,5
Taiwán-China	12	22	12	23,2
Ucrania/Ukraine	13	20,8	13	21,1
Vietnam/Vietna	14	20,1	14	15,5
México/Mexico	15	18,5	15	20,2
Francia/France	16	14,4	16	15,4
España/Spain	17	13,6	17	14,3
Canadá/Canada	18	12,9	18	13,4
Polonia/Poland	19	9	19	10,2
Arabia Saudita/Saudi Arabia	20	8,2	20	8,2
Bélgica/Belgium	21	7,8	21	8
Austria	22	7,4	22	6,9
Egipto/Egypt	23	7,3	23	7,8
Reino Unido/United Kingdom	24	7,2	24	7,3
Países Bajos/ The Netherlands	25	6,7	25	6,8
Otros/Other		100,6		106,4
Total Mundial/World Total		1868,8		1813,6

**Figura 1.** Producción mundial de acero



China es uno de los países con mayor elaboración de acero del mundo, su producción anual ha aumentado a lo largo de los años, por lo que el precio del hierro sigue subiendo todos los días, sin embargo, el analista Clyde Russell mencionó que, debido a la restauración del suministro en los principales países exportadores como Australia, Brasil y Sudáfrica, los precios del hierro pueden caer este año, lo que puede estabilizar la producción de acero de China. Desde una perspectiva nacional, las ventas externas de Ecuador aumentaron un 22,1% interanual. Desde el punto de vista local en la ciudad donde se encuentra ubicada la fábrica, se obtiene una comparación significativa con los competidores en el precio de venta de los productos derivados del acero, a causa de que estos ofrecen sus productos a un menor precio.

La nueva fábrica procesadora de acero en la que se realizará el estudio de la presente investigación comenzó a realizar sus operaciones en el área de laminación desde el año 2016, las actividades de trituración de chatarra iniciaron en el año 2017 y las actividades de la fundición en el año 2018. El principal problema que se suscita en el área de fundición es que el proceso de la administración de producción es deficiente, razón por la cual se realizará el desarrollo de este estudio.

El presente estudio investigativo analizará la eficiencia del proceso productivo de acero de medio y bajo carbono, mediante el modelo de Kaoru Ishikawa, dando como resultado la identificación de las causas y efectos de la presente investigación, las cuales se clasificó en las siguientes categorías:

- Entre la categoría como material, se evidencia que se posee desconocimiento de las practicas adecuadas de desoxidación de acero en medio y bajo carbono (disminución de oxígeno soluble en el acero con el uso de uno o más elementos),

esta falta de conocimiento se refleja en los resultados como un incremento considerado en los costos de insumos en desoxidantes del acero.

- En la categoría de medición, se puede apreciar que la operación de cucharas (recipientes fabricados en material refractario que se utiliza para contener el acero líquido durante el proceso de producción de palanquillas de acero) es inadecuada, al no mantener la temperatura estandarizada y las condiciones para la operación de vaciado del horno de arco eléctrico, a su vez como efecto esto ocasiona un incremento en el consumo de energía eléctrica en el horno cuchara, que inicia desde los 45 kwh/ton hasta 55 kwh/ton, por cada colada en el proceso de fundición del horno cuchara.
- En la categoría de método, se puede apreciar que, al no mantener el seguimiento de procesos normalizados para la formación de la escoria espumosa, provoca el desgaste del ladrillo refractario, que a su vez tiene que ser cambiado, lo que implica una parada de producción de aproximadamente 18 horas y esta actividad es realizada con una frecuencia de dos veces por semana., esto como consecuencia genera un elevado costo en la reposición de los materiales refractarios que se utiliza durante el funcionamiento del horno de arco eléctrico, esta reposición incluye el mantenimiento del equipo.

### **1.1.1 UBICACIÓN DEL PROBLEMA EN UN CONTEXTO**

Este tema de investigación de mucho interés por motivos que el principal problema que se suscita en el área producción debido a un incremento de costos en la fabricación de los productos, esto se ha reflejado en el estado de resultados mensual del área de la dirección técnica de la fundidora, existe una relación de acuerdo al modelo de Kaoru Ishikawa de causas y efectos de acuerdo a la categoría de las 6M la cuales son maquinaria, materia prima, método, mano de obra, medición, medio ambiente. En la categoría de material, se evidencia que existen practicas inadecuadas en la desoxidación del acero en medio y bajo carbono la cuales generan altos costos de insumos en desoxidantes, esto se encuentra relacionado con los materiales y costos por insumos, continuando con la categoría de medición se puede apreciar que la inadecuada operación de cucharas en el proceso de producción en la que se indica que la temperatura de vaciado de acero desde el horno de arco eléctrico hacia la cuchara no es la adecuada como lo indica el protocolo de vaciado, provocando elevados consumos de energía eléctrica en el horno cuchara, esto se encuentra relacionado con la medición y el costo de consumo de energía eléctrica, en relación con la categoría de método se puede apreciar que la actividad encargada de generar escoria espumosa requiere control en el horno de arco eléctrico y esto ha ocasionado altos costos de materiales refractarios del horno de arco eléctrico, se aprecia que, al no llevar un control de escoria espumosa ocasiona un desgaste excesivo de ladrillo refractario de trabajo del horno de arco eléctrico causando paradas de mantenimiento no planificadas, la frecuencia es de dos veces por semanas, esto se encuentra relacionado con los métodos y el costo por material refractario utilizado en los mantenimientos del horno de arco eléctrico.

### **1.1.2 SITUACIÓN CONFLICTO**

Para el estudio de este trabajo en el análisis de la eficiencia del proceso productivo de elaboración de acero de medio y bajo carbono, se realizará un enfoque en los materiales, medición y métodos de acuerdo al modelo planteado por Kaoru Ishikawa.

El problema de la presente investigación tiene origen en las siguientes causas:

1. Prácticas inadecuadas de desoxidación de acero en medio y bajo carbono.
2. Incorrecta operación de cucharas en proceso de producción.
3. El proceso de formación de escoria requiere un mayor control de espumación.

Por otro lado, los efectos que se ocasionan de acuerdo a las causas citadas tenemos:

1. Altos costos de insumos en desoxidantes.
2. Elevado consumo de energía eléctrica en el horno cuchara.
3. Altos costos de materiales refractarios del horno de arco eléctrico.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

En la producción de acero del área de fundición tenemos 4 procesos que son mencionados como:

- Carga de cesta
- Horno de arco eléctrico
- Horno cuchara
- Colada continua

El análisis del proceso de producción hace referencia al proceso donde se funde la chatarra a través del horno de arco eléctrico que forma parte del proceso de carga de cestas, que es el proceso inicial y como límite final se mide directamente la magnitud de la temperatura que deberá ser adecuada para la solidificación de acero en el proceso de la colada continua.

El estudio de esta investigación se delimita en el siguiente contexto.

**Área:** Ingeniería Industrial

**Línea:** Desarrollo Industrial

**País:** Ecuador

**Región:** Costa

**Provincia:** Guayas

**Cantón:** Milagro

### **1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿De qué manera incide realizar un análisis de la eficiencia del proceso productivo de elaboración de acero de medio y bajo carbono en una empresa siderúrgica ubicada en Milagro tomando en cuenta las categorías de materiales, medición y métodos en su proceso productivo?

### **1.2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Qué factores influyen en el inadecuado control de espumación de la escoria en los altos costos de materiales refractarios del horno de arco eléctrico?
- ¿Cómo influye las prácticas inadecuadas en el proceso de desoxidación de acero de medio y bajo en los altos costos de insumos de desoxidantes en el área de fundición?

- ¿De qué forma afecta las inadecuadas técnicas operacionales en el proceso de afino del horno cuchara en el elevado consumo de energía eléctrica de los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono?
- ¿Cómo incide un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y los procesos estudiados en la reducción de costos de producción?

#### **1.2.4 EVALUACIÓN DEL PROBLEMA**

Esta investigación se enfocará en considerar el pronóstico, que, si no se logra controlar los costos de producción, estos se continuarán elevando, por la falta de un análisis del actual sistema productivo, esto provocará que el precio de venta por unidad de palanquilla sea muy alto en comparación con las empresas de fundición de la competencia, lo cual será un riesgo de amenaza para la existencia de la empresa, por lo tanto, este tema es de actualidad en el mercado competitivo.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE**

#### **1.3.1 JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo de investigación se justifica a través de la sublinea de investigación de estudio en la gestión de la producción, de la calidad y de los procesos, este trabajo también se justifica en base a la observación realizada en los estados de resultados que se generan de manera mensual por parte de la empresa de estudio y se complementa revisando el precio de venta de la competencia de los productos, este análisis en el proceso de investigación es de importancia por motivos que se ha direccionado a el departamento de producción en el área de fundición y beneficiará de forma directa al área de producción, en el cual se ha planteado el análisis de la eficiencia del proceso productivo de elaboración de acero de medio y bajo carbono, el desafío actual para las

empresas siderúrgicas es reducir los costos de producción para ser competitivas en el mercado.

### **1.3.2 ALCANCE**

Este estudio tiene el alcance que comprende un análisis sobre los materiales, medición y métodos actualmente utilizados en el área de fundición. Los beneficios que podemos conseguir a través de este trabajo investigativo es realizar el análisis del actual proceso productivo lo cual permitirá obtener las directrices y lineamientos necesarios para alcanzar los objetivos planteados durante esta investigación. Este trabajo tiene la factibilidad de realizarse debido a que cuenta con el apoyo y el interés del área técnica del área de fundición, la investigación de este trabajo se realizará con un estudio de información otorgada por la empresa hasta dos años de antigüedad, con el fin de poder comprender las necesidades de la institución e investigar algunas estrategias adecuadas para solucionar los problemas que surgen durante este período.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Fundamentar de manera teórica la elaboración de un análisis de la eficiencia del proceso productivo de elaboración de acero de medio y bajo carbono en una empresa siderúrgica ubicada en Milagro tomando en cuenta las categorías de materiales, medición y métodos.

#### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar el procedimiento que genera escoria espumosa, utilizada en el control del desgaste del ladrillo refractario que recubre el horno de arco eléctrico, mediante la aplicación de la metodología de Pretorius y espectrometría de fluorescencia de rayos x por dispersión de energías (EDXRF), con el objeto de estandarizar los costos de materiales utilizados en el mantenimiento.
- Analizar el proceso de desoxidación de acero de medio y bajo carbono del horno cuchara, mediante la metodología de Ellingham, que permitan identificar las prácticas adecuadas de operación y disminuyan los altos costos de insumos de desoxidantes en el área de fundición.
- Identificar las correctas técnicas operacionales en el proceso de afino del horno cuchara en los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono, por medio del cálculo del coeficiente de correlación de Spearman y la metodología de Gasik que permitan reducir el elevado consumo de energía eléctrica.
- Validar la información y los resultados obtenidos mediante un análisis de expertos.
- Proponer un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y los procesos estudiados que permitan disminuir los costos mediante un estudio de tiempos en la producción del área de fundición.



## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 ESTADO DEL ARTE

**TEMA:** FORMACIÓN DE ESCORIA ESPUMOSA EN HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO

A su vez A.P Luz nos menciona que el proceso de espumado de escoria se aplica actualmente a algunos equipos para producción de acero como horno de arco eléctrico (EAF), horno de oxígeno básico (BOF), entre otros. con el objetivo de ahorrar energía, mejorar la productividad, mejorar la vida útil del refractario e inhibir la reoxidación del acero.(Luz et al., 2011).

Josefin Svensson nos menciona que, durante el proceso del afino, la escoria espumosa protege los electrodos de grafito del desgaste. Esto permite una mayor productividad en el horno, ya que aumenta la transferencia de calor entre el electrodo y el metal fundido. También protege los refractarios del desgaste, lo que reduce la cantidad de tiempo de inactividad para el trabajo de mantenimiento. (Svensson, 2018).

Kyungchan Son, nos plantea que el control óptimo de la formación de espuma de escoria es un requisito importante para lograr una mayor productividad y eficiencia en el horno eléctrico de arco durante el proceso de fabricación de acero. (Son et al., 2021).

**TEMA: CALENTAMIENTO DE CUCCHARAS DE ACERÍA PARA EL PROCESO DEL HORNO CUCHARA**

En un estudio realizado en Brasil por el André Zimmer nos menciona que es de mucha importancia enfocarnos en la disminución de las pérdidas de calor durante el refinado del acero, esto reduce los costos de producción de acero y aumenta la productividad y calidad del acero.(Zimmer et al., 2008)

En la India, Dashrath Singh Kathait, nos menciona que, durante el procesamiento de acero líquido en el horno cuchara, existe una reducción continua de temperatura debido a las pérdidas de calor por conducción y radiación.(Kathait, 2016).

En un artículo del 2016 por Mohammed Yunus, nos menciona que el principio de la operación de cucharas inicia desde la importancia del secado y calentamiento del revestimiento de cuchara nuevo.(Yunus et al., 2016).

**TEMA: DESOXIDACIÓN DEL ACERO EN EL PROCESO DEL HORNO CUCHARA.**

La desoxidación del acero ha sido estudiada por muchos autores, en un estudio realizado en el país de Estados Unidos por Walter Crafts, nos menciona que la desoxidación del acero inicia en el vaciado del horno de arco eléctrico y la práctica final de desoxidación en el horno cuchara. (Crafts & Hilty, n.d.).

En un artículo publicado por Goro Yuasa, publicado en el país Japón, nos plantea que a través de la operación del horno cuchara, se han establecido algunas técnicas de afinación únicas para realizar la reducción de óxidos metálicos atrapados en la escoria.(Goro et al., 2015).

En el estudio realizado por Viviane Lima Freitas da Silva, del país Brasil, nos menciona que durante el proceso de producción del acero en el horno cuchara es importante

mantener condiciones ideales de agitación y con el debido cuidado de homogeneización son significativos para evitar la reoxidación del acero, se ha observado que es muy importante mantener unas prácticas adecuadas en la operación durante desoxidación del acero.(Silva et al., 2019).

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

**Basicidad:** La basicidad es un parámetro a tomar en cuenta en el horno de arco eléctrico durante la etapa de afino, la escoria contiene componentes capaces de entregar aniones de ( $O_2$ ) como el óxido de calcio ( $CaO$ ) y el óxido de magnesio ( $MgO$ ) son considerados como básicos mientras que los que reciben los aniones se les considera ácidos como por ejemplo sílice ( $SiO_2$ ), alúmina ( $Al_2O_3$ ), óxido de hierro ( $FeO$ ), óxido de manganeso ( $MnO$ ) y pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), entre otras palabras la basicidad es la relación que existe entre los óxidos básicos y óxidos ácidos del acero. (Lozada Cardenas & Huertas Ferrer, 2019)

**CCM:** Siglas en inglés “Continuous casting machine”, máquina de colada continua en español.(Sosa Rivero, 2019)

**Colada:** Lote de acero líquido con una determinada especificación química que está contenida en un recipiente líquido conocido como cuchara. (Cicutti, 1997).

**Colada Continua:** Se denomina al proceso de solidificación del acero, que inicia desde la apertura de la cuchara, hacia el distribuidor y posterior a los moldes de las líneas de producción.(Sosa Rivero, 2019)

**Control de operaciones:** Es medir y corregir el desempeño de las operaciones para asegurar el cumplimiento de los objetivos y de la planificación de la empresa a corto o mediano plazo.(Velazquez Ruvalcaba et al., 2016)

**Costos:** Son las inversiones utilizadas para el proceso de fabricación de un producto o la prestación de un servicio, entre ellos intervienen los siguientes: insumos, materia prima, salario del personal de producción, entre otros.(Vallejos Orbe & Chilingu Jaramillo, 2010).

**Cuchara:** Recipiente de metal cubierto con material de ladrillo refractario para contener el acero líquido hasta una temperatura de 1700 °C.(Velazquez Ruvalcaba et al., 2016)

**Depreciación:** La depreciación es la disminución del valor de un bien que puede ser propiedad de una empresa, ocasionado por el desgaste del bien a lo largo del tiempo o por la propia obsolescencia.(Polo Garcia, 2013)

**EAF:** Siglas en inglés “Electric arc furnace”, horno de arco eléctrico en español.

**Equipo:** Son todos los activos físicos entre ellos maquinarias que posee una empresa destinada al proceso de producción de bienes, productos o servicios.(Polo Garcia, 2013)

**Escoria:** Es el residuo del acero en las diferentes etapas del proceso de fundición, es conocida como “slag” en su definición de inglés, la escoria posee materiales no metálicos e impurezas y se encuentra presentes desde la etapa afino del horno de arco eléctrico hasta la colada continua. (Sosa Rivero, 2019).

**Escoria espumosa:** Se caracteriza por tener un volumen nueve veces mayor a las escorias normales debido a la existencia de burbujas de gas dentro de la masa líquida y se caracteriza por tener una consistencia cremosa. (Mateos Carmona, 2010)

**Fundente:** Agente limpiador del hierro. Se utiliza cal para que reaccione con las impurezas del acero formando escoria la cual flota en la etapa de afino del horno de arco eléctrico. (Álvarez González, 1996)

**Horno de arco eléctrico:** Horno donde se utiliza chatarra como principal fuente de materia prima. En calor es suministrado por electricidad en forma de arco que proviene de los electrodos de grafito hacia el baño metálico y utiliza energía química proveniente de la inyección de GLP y oxígeno líquido. (Madías, 2011)

**LF:** Siglas en inglés “Ladle furnace”, horno cuchara.

**Metodología:** Es la combinación de técnicas y procedimiento adecuados que son utilizados para obtener un número determinado de objetivos requeridos.(Vilcarromero Ruiz, 2017)

**Mix de chatarra:** Mezcla de diferentes tipos de chatarra utilizados para producción de un lote de acero en el área de fundición. (Berna Tamayo, 2001).

**Palanquilla:** Forma de acero solidificada que posee característica rectangular, es un producto semi terminado del área de laminación y un producto terminado del área de fundición, se utiliza para productos largos como: barras, canales u otras formas estructurales. (Velazquez Ruvalcaba et al., 2016)

**Precio:** Es la cantidad monetaria ganada por proporcionar o vender productos y servicios a un cliente externo.(Vilcarromero Ruiz, 2017)

**Producto:** Un producto es una un bien tangible que se fabrica de forma industrial a través de una serie que de procesos para consumo o uso personal. (Vilcarromero Ruiz, 2017)

**Refractarios:** Los materiales refractarios tiene la capacidad de soportar temperaturas mayores a los 1600°C, los más utilizados en el área de fundición del horno de arco eléctrico son material de dolomita y la magnesita, esto materiales poseen la

característica que son buenos resistentes al ataque de materiales básicos y son inertes al acero fundido.(Verdeja et al., 2014)

**Refractario básico:** Refractario que tiene como componentes como grafito, magnesia electrofundida, magnesia sinterizada de alta calidad. (Zaoui et al., 2020)

**Refractario dolomítico:** Refractario que tiene como componentes como dolomía sinterizada, magnesia sinterizada de alta pureza, óxido de Zirconio, grafito. (Zaoui et al., 2020)

**SAP:** Es un sistema informático integrado de gestión empresarial diseñado para modelar y automatizar diversas áreas de negocio y la gestión de sus recursos se destacan la materia prima, repuestos, productos, servicios, entre otros. (Rivera Poma et al., 2014)

**Stock:** Es el conjunto de insumos, materia prima o productos que se encuentran guardados en un almacén para uso de clientes externos o clientes internos.(Vilcarromero Ruiz, 2017)

**TIEMPO TAP TO TAP (TTT):** Tiempo de un ciclo de trabajo entre dos vaciados, tiempo entre coladas realizadas en el EAF, también se puede definir la sumatoria entre el power on (Tiempo de horno encendido) y power off (Tiempo de horno apagado).

**Valor:** Es la cantidad de dinero que un consumidor se compromete a pagar por un producto o servicio antes de una fecha establecida por parte del fabricante. (Husain-Talero, 2018)

**Válvula gaveta:** Sistema de mecanismo de cuchara que permite el paso del flujo del acero hacia el distribuidor de acero. (Madías, 2011)

**Venta:** Es la entrega de un producto o servicio a un consumidor a través del pago de un precio de forma física o digital.(Husain-Talero, 2018)

## **2.2.2 ESTUDIO DE MÉTODO**

### **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN**

La función principal del área de acería es la de fundir chatarra ferrosa reciclada, a la que llamaremos macro proceso. El proceso de producción del área de acería se divide en 4 procesos importantes:

- Preparación de chatarra en el área de carga de cestas (Carga de mix de chatarra).
- Fundición de chatarra en Horno de Arco Eléctrico (Electric Arc Furnace).
- Calentamiento y homogeneización de acero líquido (Afinación) en el Horno Cuchara (Ladle Furnace)
- Colado continuo de acero.

### **CARGA DE CESTAS**

La cadena de valor del área de fundición inicia desde el área de cargas de cestas, el área de carga de cestas recibe la chatarra como principal materia prima del área de metálicos o de la trituradora principal de la empresa de estudio, la cual tiene como función seleccionar la chatarra en patios de acopio, posteriormente es procesada y trasladada a las instalaciones del área de fundición para realizar la producción de acero de palanquilla como producto final.

La calidad de la chatarra depende de tres factores importantes que son:

- Facilidad para ser cargada en el horno de arco eléctrico.

- Las características chatarra entre ellas intervienen, la densidad de la chatarra, tamaño, espesor, forma.
- Su composición química, como indicador fundamental por la presencia de elementos residuales, que sean difíciles de eliminar en el proceso de fundición del horno de arco eléctrico.

La chatarra en el área de fundición para realizar la producción, se clasifica en tres grandes grupos:

- Chatarra reciclada: Formada por despuntes, producto no conforme en los estándares de calidad generados en la propia fábrica del área de laminación, fundición y trefilación. Este tipo de chatarra se caracteriza por ser de alta calidad por motivos que se efectúa de la merma de cada una de las áreas antes mencionadas.
- Chatarra de transformación: Este tipo de chatarra se caracteriza por que procede de la fabricación de piezas o diferentes componentes de acero (virutas de máquinas herramientas, recortes de prensas y guillotinas, residuos de máquinas de tornos o fresadoras, entre otras).
- Chatarra de recuperación: Este tipo de chatarra es la que mayor parte de se utiliza en el área de fundición, procede del desguace de edificios con estructura de acero, plantas industriales, barcos, automóviles, electrodomésticos, entre otras.

Cómo parte proceso de preparación de carga de cesta, se considera la recepción de materia prima (chatarra), colocación de cal cálcica y dolomítica dentro de una cesta de



40 m<sup>3</sup> q de capacidad; considerando un mix de chatarra de 2 cargas, posterior se realiza el traslado de la cesta hacia el área del horno de arco eléctrico.

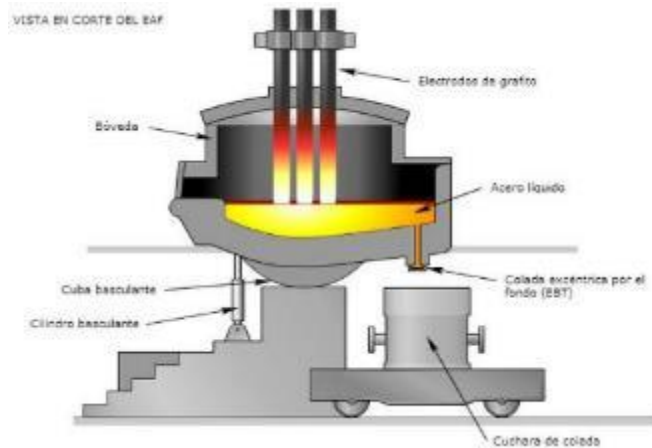


**Figura 2.** Patio de carga de cestas

## **HORNO DE ARCO ELÉCTRICO**

Se realiza la carga de chatarra en el horno de arco eléctrico posicionando la grúa de 80 toneladas encima del horno de arco eléctrico, se realiza la apertura de la cesta y por gravedad desciende la chatarra dentro del horno, una vez realizada la carga de chatarra y los escorificantes dentro del horno de arco eléctrico, se realiza la transformación de acero. El horno de arco eléctrico funde la chatarra reciclada y la convierte en acero líquido (colada), a través de arcos eléctricos de alta potencia generados por 3 columnas electrodos de grafito que desciende en por la bóveda del horno, el HEA utiliza energía eléctrica y energía química por la reacción de combustión entre el oxígeno y carbón de inyección, los cuales son suministrados mediante una lanza de inyección a lo largo del proceso de producción de la colada. El tiempo de este proceso por colada de acero líquido es de 35 minutos a 40 minutos con un promedio de 55 toneladas de carga de chatarra en el horno eléctrico, para posterior realizar el vaciado aproximado de una colada 55 toneladas de acero líquido en una cuchara con un rango de temperatura de

1620°C a 1650°C para el siguiente proceso de producción en ladle furnace (horno cuchara).

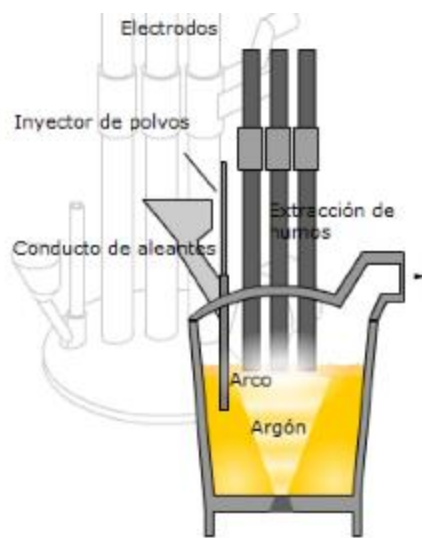


**Figura 3.** Horno de arco eléctrico (Electric Arc Furnace)

## **HORNO CUCHARA**

Una vez el acero es vaciado en una cuchara el cual es un recipiente que contiene material refractario en su interior, es trasladado al siguiente proceso que es el Horno Cuchara. El horno cuchara posee un diseño de equipo muy similar al Horno de Arco Eléctrico, con electrodos de menor tamaño y menor diámetro. En el equipo de horno cuchara, se eleva la temperatura del acero líquido a través de energía eléctrica y se deberá ajustar la composición química del acero, como un requerimiento que establece el cliente; el cual, consiste en determinar los parámetros del: carbono, silicio, manganeso, fósforo, azufre, que se constituyen como los componentes químicos del acero, para ello homogeniza la mezcla mediante un burbujeo con gas argón el cual permite a realizar la afinación de la colada de acero líquido. La química del productor depende del cliente, en el área de fundición se trabaja según la clasificación de la Norma

Internacional SAE que califica a la aleación con cuatro dígitos, los últimos dos dígitos especifican la cantidad de carbón presente, y como norma del estado ecuatoriano se utilizan las normas técnica ecuatoriana como lo son la NTE INEN 2167 y ASTM para varilla recta y figurada, (NTE INEN 2215 - 2224 para ángulos), (NTN INEN 2215 - 2222 para barras cuadradas, lisas, platinas), (NTE 2215 - 2234 para tees), (NTE INEN 2167 para mallas electrosoldadas), (NTE INEN 1511 - 2209), (ASTM 185 - 497 las cuales son para viguetas y diferentes vigas).



**Figura 4.** Horno cuchara (Ladle Furnace)

Finalizado el proceso de la colada de acero líquido en el horno cuchara, se realiza el traslado de la cuchara al área de la colada continua entre un rango de temperatura de 1590°C a 1650°C tomando en cuenta el SAE de los lotes a producir y la temperatura de solidificación del acero de acuerdo al diagrama Hierro-Carbono.

## **COLADA CONTINUA**

La grúa de 100 toneladas realiza el traslado de la cuchara al área de colada continua, la cuchara con acero líquido es colocada en la torreta en la posición de izaje de levantamiento con grúa, el proceso de la colada continua es en línea debido a que en la

torreta se puede realizar el cambio de cucharas sin interrumpir la secuencia, un requisito para ello es que la artesa o distribuidor siempre contenga tonelaje de acero líquido.

La torreta realiza el giro de cuchara a posición de trabajo del carro de porta tundish (distribuidor o artesa), el mecanismo de válvula gaveta de la cuchara realiza la apertura y a través del cono externo de cuchara cae el chorro de acero líquido en el tundish (distribuidor o artesa). Cuando la cantidad de acero contenido en la artesa es suficiente para mantener después la alimentación a las líneas de producción, se realiza la apertura de los orificios de la artesa y el chorro de acero líquido ingresa a los moldes e inician su proceso de llenado hasta un determinado nivel de 70% del molde. La primera vez de arranque de secuencia de la máquina de colada continua se utiliza una barra falsa que sirve para guiar el acero que se encuentra dentro del molde al iniciar la solidificación de acero. A través del taponamiento provocado por la falsa barra el molde inicia el proceso de oscilación y extracción de la falsa barra el cual contendrá la palanquilla solidificada.



**Figura 5.** Área de colada continua, parte superior

La solidificación de acero en el proceso de la colada continua inicia desde el ingreso del acero al molde, la solidificación del acero se divide en 2 áreas características de enfriamiento:

Enfriamiento primario: El acero líquido ingresa dentro del molde e inicia el enfriamiento del acero, a través del intercambio de calor entre el acero y las paredes del molde que se encuentran refrigerados con agua de alta calidad, este sistema de enfriamiento de molde se caracteriza por mantener un sistema de recirculación de agua.

Enfriamiento secundario: Se caracteriza por realizar el enfriamiento de la palanquilla con chorros de agua presurizados mediante sprays, el proceso de enfriamiento secundario inicia desde la palanquilla formada en la salida del molde. El enfriamiento secundario está dividido en 3 zonas de enfriamiento directo. Zona #01, zona #02, zona #03.

La Zona #01 de enfriamiento se encuentra fijada en la parte inferior del molde y la zona #02 y zona #03, están fijadas en la base de las estructuras de los rodillos. El enfriamiento secundario es más intenso en las zonas #01 y zona #02. Cada manifold cubre una cara de la palanquilla, cada palanquilla tiene 4 caras, A, B, C Y D, estos manifolds con sprays se encuentran alineados con el centro de la cara con la cual está asociada. Al finalizar el enfriamiento secundario con agua comienza el enfriamiento de palanquilla al aire ambiente.



**Figura 6.** Área de colada continua, parte inferior

La palanquilla no se pone en contacto con el mecanismo de arrastre de palanquillas constituido por rodillos de la curvilínea, hasta que se encuentra culminada la solidificación del acero líquido en el interior de la palanquilla.

Finalizado el proceso de solidificación y enfriamiento del acero, la palanquilla es transportada por una serie de rodillos hasta llegar al área de corte, en la cual se realizan cortes de palanquilla a la longitud deseada por el cliente interno o cliente externo, para luego colocar la palanquilla en la mesa de enfriamiento y se reduzca la temperatura y alcance  $700^{\circ}\text{C}$ , a esta temperatura la palanquilla puede ser sujetadas con una grúa que contenga un imán y ser almacenadas para el siguiente proceso del área de laminación.

### 2.2.3 DIAGRAMA DEL FLUJO DE OPERACIONES ACTUAL

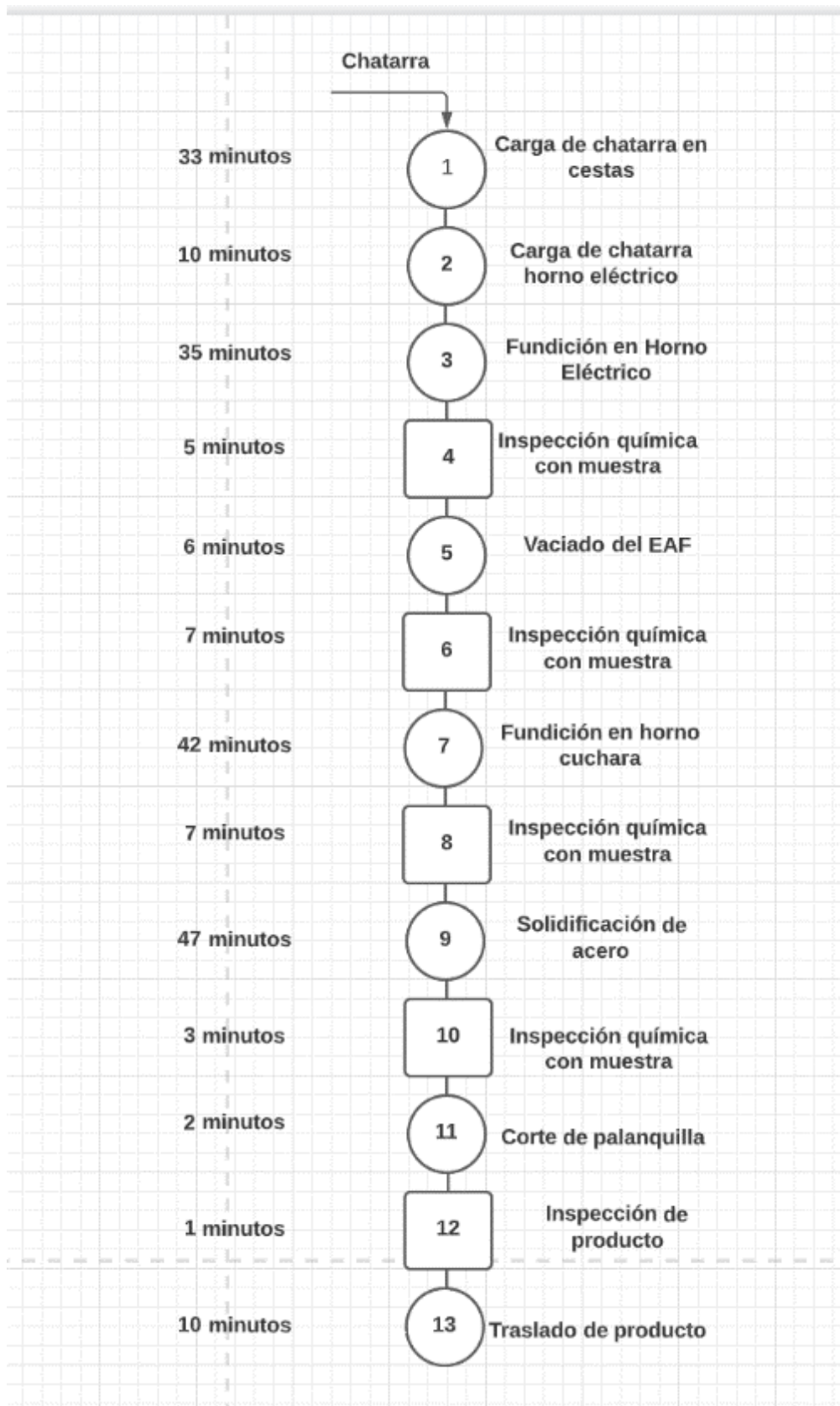


Figura 7. Diagrama de flujo de operaciones actual

## 2.2.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ACTUAL

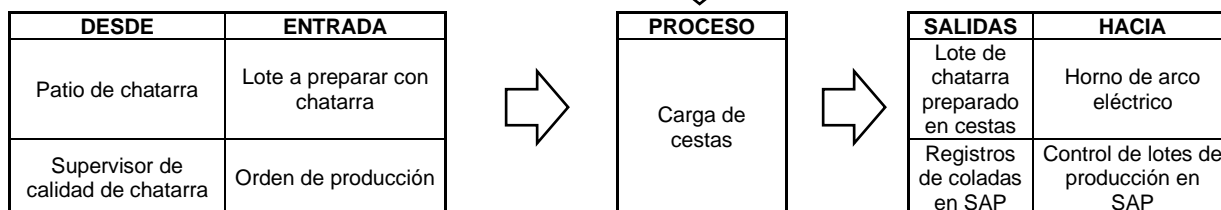
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO					
FABRICACIÓN DE ACERO					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL: X	MÉTODO PROPUESTO:			FECHA: MAYO 2022
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
<b>CANTIDAD TOTAL</b>	21	4	1	0	4
<b>TIEMPO TOTAL</b>	174	18	5	0	11
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACION		
Cálculo del mix de chatarra	● → ▽ D □	2			
Selección de chatarra	● → ▽ D □	1			
Carga de chatarra en cestas	● → ▽ D □	30			
Traslado de cestas al horno de arco eléctrico	○ → ▽ D □	5			
Apertura de bóveda del horno de arco eléctrico	● → ▽ D □	3			
Carga de chatarra en el horno de arco eléctrico	● → ▽ D □	2			
Fundición de chatarra en horno de arco eléctrico	● → ▽ D □	25			
Ingreso de carbón de inyección	● → ▽ D □	10			
Muestreo de componentes químicos	○ → ▽ D ■	3			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	2			
Realizar vaciado	● → ▽ D □	6			
Trasladar cuchara desde el horno eléctrico al horno cuchara	○ → ▽ D □	2			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	2			
Preparación de escoria	● → ▽ D □	8			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	2			
Fundición de acero en horno cuchara	● → ▽ D □	35			
Muestreo de componentes químicos	○ → ▽ D ■	5			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	2			
Trasladar cuchara desde el horno cuchara a colada continua	○ → ▽ D □	6			
Realizar giro de torreta	● → ▽ D □	1			
Realizar apertura de cuchara mediante válvula gaveta	● → ▽ D □	1			
Llenado de acero en el distribuidor	● → ▽ D □	4			
Apertura de líneas de producción de colada continua	● → ▽ D □	10			
Solidificación de acero	● → ▽ D □	25			
Muestreo de componentes químicos	○ → ▽ D ■	2			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	1			
Corte de palanquillas	● → ▽ D □	2			
Inspección de palanquillas	○ → ▽ D ■	1			
Traslado de palanquillas	○ → ▽ D □	5			
Almacenamiento de palanquillas	○ → ▽ D □	5			



## 2.3 MARCO CONTEXTUAL

### 2.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PRODUCCIÓN

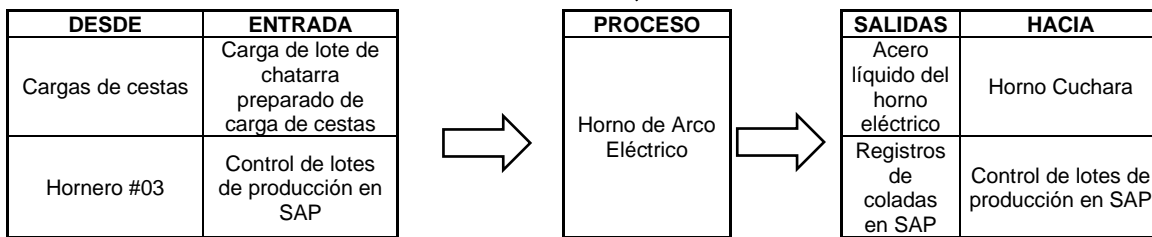
CARACTERIZACIÓN DE PROCESO		SECCIÓN
PROCESO:		PÁGINA
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CARGA DE CESTAS	REVISIÓN
Proceso encargado a preparar los lotes de chatarra para la fundición del horno de arco eléctrico, este proceso se caracteriza por la alta flexibilidad entre lotes en el área de producción durante las campañas de bajo o medio carbono.	<b>CONTROLES</b>	
	<b>DOCUMENTOS</b>	<b>REGISTROS</b>
	Orden de producción	Reporte de coladas(lotes) en Excel  Registros de coladas en SAP



RECURSOS	
Humanos	Físicos/Tecnológicos
Hornero #3	Base de datos, computadora, impresora, internet, puente grúa de carga de chatarra, radio, teléfono inteligente
Operador de puente grúa de chatarra	
Supervisor de calidad de chatarra	
Supervisor de mantenimiento fundidora	
Supervisor de producción fundidora	

INDICADOR	FORMA DE CÁLCULO	FRECUENCIA	STD/META	MÁXIMO	MÍNIMO	RESPONSABLE
Retraso en carga de cestas	Minutos de parada/número de coladas procesada	1 vez por turno de 12 horas	Ninguna	5	1	Hornero #3/Operadores de puente grúa de cestas
Número de cargas altas de chatarra en horno de arco eléctrico	Minutos de parada/número de coladas procesada	1 vez por turno de 12 horas	Ninguna	3	1	Hornero #3/Operadores de puente grúa de cestas
Rendimiento de chatarra	Acero en palanquilla/Chatarra cargada en el horno de arco eléctrico	Cada colada por turno de producción en un turno 12 horas	89% en SAE de medio carbono, 85% en SAE de bajo carbono	85%	89%	Hornero #3/Operadores de puente grúa de cestas
Coladas conforme con residuales	Coladas no conforme en residuales/Coladas conforme en residuales	1 vez al mes de producción	Ninguna	0	0	Hornero #3/Operadores de puente grúa de cestas/Supervisor de calidad de chatarra
<b>RESPONSABLE DEL PROCESO</b>		<b>HORNERO #3/Operadores de puente grúa de chatarra</b>			<b>FECHA:</b>	

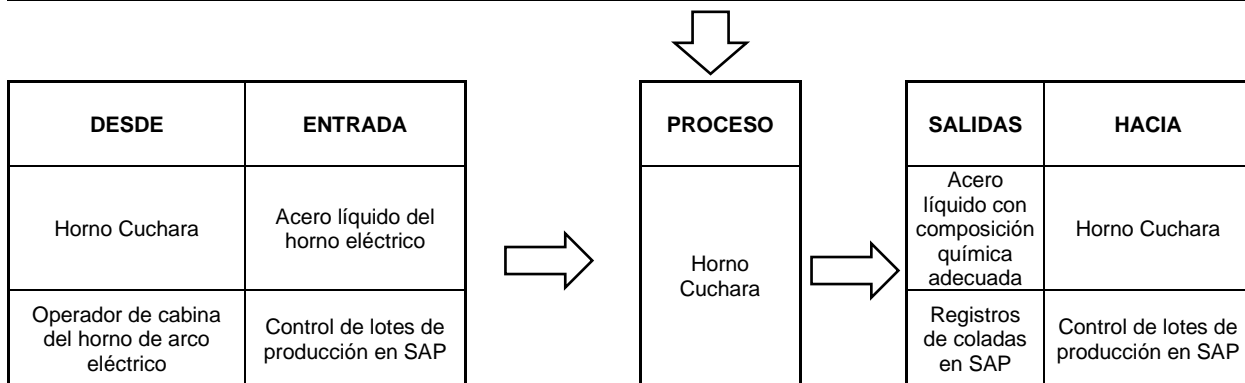
CARACTERIZACIÓN DE PROCESO		SECCIÓN
PROCESO:		PÁGINA
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>	<b>HORNO DE ARCO ELÉCTRICO</b>	<b>REVISIÓN</b>
Proceso encargado de realizar la fundición de chatarra en acero líquido, con una capacidad de producción de 420.000 toneladas de acero por año	<b>CONTROLES</b>	
	<b>DOCUMENTOS</b>	<b>REGISTROS</b>
	Orden de producción	Reporte de informe de coladas(lotes) en Excel
		Registros de coladas en SAP



RECURSOS	
Humanos	Físicos/Tecnológicos
Operador de cabina del horno eléctrico	Base de datos, computadora, impresora, Internet, puente grúa de carga de horno eléctrico, radio, teléfono inteligente, máquina de análisis de composición química
Operador de plataforma del horno eléctrico	
Supervisor de producción fundidora	
Supervisor de mantenimiento fundidora	
Analista de laboratorio de calidad	

INDICADOR	FORMA DE CÁLCULO	FRECUENCIA	STD/META	MÁXIMO	MÍNIMO	RESPONSABLE
Power off (Tiempo de parada del horno eléctrico)	Minutos de parada/número de coladas procesada	10 minutos de parada/colada	150 min	250	150	Operador de cabina del horno de arco eléctrico
Merms por salida de acero líquido por puerta del horno eléctrico	Kg/toneladas	1 vez por turno de 12 horas	0	10	25	Operador de cabina del horno de arco eléctrico
Productividad del turno	Toneladas de palanquilla/horas hombres trabajada	13 coladas en turno de 12 horas	60 toneladas/hora	72	60	Operador de cabina del horno de arco eléctrico/Operador de plataforma del horno eléctrico
Coladas conforme con fósforo	Coladas no conforme en fósforo/Coladas conforme en fósforo	5 vez al mes de producción	Ninguna	0	0	Operador de cabina del horno de arco eléctrico/Analista de laboratorio de calidad
<b>RESPONSABLE DEL PROCESO</b>	<b>OPERADOR DE CABINA DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO</b>				<b>FECHA:</b>	

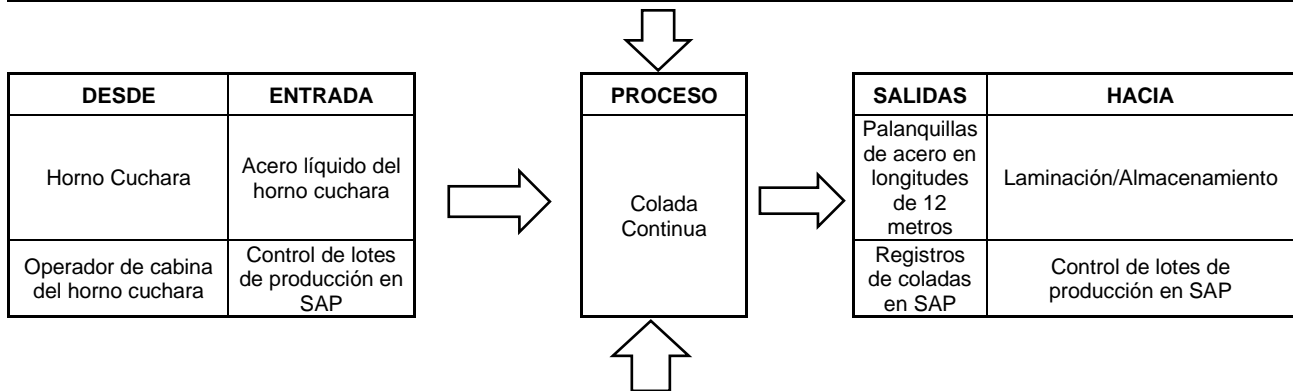
CARACTERIZACIÓN DE PROCESO		SECCIÓN
PROCESO:		PÁGINA
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	HORNO CUCHARA	REVISIÓN
Proceso encargado de recibir el acero líquido del horno de arco eléctrico, el horno cuchara realiza ajuste de composición química y temperatura óptima para el proceso posterior de colado en máquina de colada	<b>CONTROLES</b>	
	<b>DOCUMENTOS</b>	<b>REGISTROS</b>
	Orden de producción	Reporte de informe de coladas(lotes) en Excel
		Registros de coladas en SAP



RECURSOS	
Humanos	Físicos/Tecnológicos
Operador de cabina del horno cuchara	Base de datos, computadora, impresora, Internet, puente grúa de operación de cucharas, radio, teléfono inteligente, máquina de análisis de composición química
Operador de plataforma del horno cuchara	
Supervisor de producción fundidora	
Supervisor de mantenimiento fundidora	
Analista de laboratorio de calidad	

INDICADOR	FORMA DE CÁLCULO	FRECUENCIA	STD/META	MÁXIMO	MÍNIMO	RESPONSABLE
Power on (Tiempo de encendido el horno cuchara)	Minutos de operación/número de coladas procesada	35 minutos de tiempo encendido/colada	455 min	40	30	Operador de cabina del horno cuchara
Consumo de agitación de argón/nitrógeno	M3/toneladas	13 coladas en turno de 12 horas	39	45	30	Operador de cabina del horno de arco eléctrico
Coladas con composición química	Producción de acero en palanquilla/Coladas conforme en residuales	Siempre	780	780	0	Hornero #3/Operadores de puente grúa de cestas/Supervisor de calidad de chatarra
Productividad del turno	Toneladas de palanquilla/horas hombres trabajada	13 coladas en turno de 12 horas	60 toneladas/hora	72	60	Operador de cabina del horno de arco eléctrico/Operador de plataforma del horno eléctrico
<b>RESPONSABLE DEL PROCESO</b>		<b>OPERADOR DE CABINA DEL HORNO CUCHARA</b>			<b>FECHA:</b>	

CARACTERIZACIÓN DE PROCESO		SECCIÓN
PROCESO:		PÁGINA
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	COLADA CONTINUA	REVISIÓN
L a colada continua recibe el acero líquido del horno cuchara e inicia el proceso de solidificación del acero a través del intercambio de calor entre la lingotera y el acero líquido para obtener el producto final de la acería que es la palanquilla	<b>CONTROLES</b>	
	<b>DOCUMENTOS</b>	<b>REGISTROS</b>
	Orden de producción	Reporte de informe de coladas(lotes) en Excel
		Registros de coladas en SAP



RECURSOS	
Humanos	Físicos/Tecnológicos
Operador de cabina de colada continua	Base de datos, computadora, impresora, Internet, puente grúa de operación de cucharas, radio, teléfono inteligente, máquina de análisis de composición química
Operador de plataforma de colada continua	
Supervisor de producción fundidora	
Supervisor de mantenimiento fundidora	
Analista de laboratorio de calidad/Inspector de palanquilla	

INDICADOR	FORMA DE CÁLCULO	FRECUENCIA	STD/META	MÁXIMO	MÍNIMO	RESPONSABLE
Tap to Tap	Tiempo de vaciado de una cuchara	50 minutos por cuchara	715 min	65	50	Operador de cabina del horno cuchara
Cierre de líneas	Minutos por cierre de línea	10 minutos en turno de 12 horas	10	10	0	Operador de cabina del horno de arco eléctrico
Productividad del turno	Toneladas de palanquilla/horas hombres trabajada	13 coladas en turno de 12 horas	60 toneladas/hora	72	60	Operador de cabina del horno de arco eléctrico/Operador de plataforma del horno eléctrico
<b>RESPONSABLE DEL PROCESO</b>		<b>OPERADOR DE CABINA DEL HORNO CUCHARA</b>			<b>FECHA:</b>	

El área de fundición cuenta con las siguientes características principales durante su proceso de producción las cuales son:

- La producción del acero se mide en toneladas/hora en el horno de arco eléctrico.
- El área de fundición está equipada con un horno de arco eléctrico con una capacidad de producción de 420.000 toneladas de acero por año, está conformado por una serie de paneles refrigerados por agua e internamente recubiertos por material refractario diseñado para resistir alta temperatura.
- Condiciones de producción estrictas para cada lote de producción.
- Baja diversidad de productos por fabricar entre ellos productos de medio carbono: SAE 1026, SAE 1022, productos de bajo carbono: SAE 1008, 1005B Y 1006B.
- Alto grado de especialización para la operación de los equipos de fundición.
- Alta tasa de utilización de todas las máquinas de producción.
- Alta flexibilidad entre lotes de producción durante las campañas de bajo o medio carbono.
- La gran mayoría de las máquinas de producción en el área de la fundidora son críticas, tipo de clase A, si un equipo de clase A falla, se detiene toda la producción.
- Posibilidad de fabricar ciertos productos estándar durante los periodos de baja demanda entre ellos se caracterizan como el SAE 1026
- Cada colada/lote de producción es único debido a que cada lote es distinto del otro por diferentes motivos entre ellos se destacan: Diferente tiempo de encendido del horno eléctrico, horno cuchara, diferente velocidad de colada en máquina de colada continua, diferente consumo de GLP y oxígeno en el horno de arco eléctrico, diferente contenido de residuales controlables como fósforo, manganeso, azufre, silicio, y diferente contenidos de residuales no controlables como: cobre, molibdeno, níquel,

cobalto, cobre, niobio, titanio, vanadio, wolframio, plomo, estaño, arsénico, boro, zinc, nitrógeno.

- Se realiza la producción para mantener stock en bodega.
- Producción continua entre las áreas de chatarra, fundición, laminados y trefilados.

### 2.3.2 DIAGRAMA PEPSC

La tabla 1 muestra el listado de materia prima que ingresa al proceso de producción de palanquilla mediante un diagrama PEPSC

**Tabla 1.** Diagrama PEPSC

<b>DIAGRAMA PEPSC DEL ÁREA DE FUNDICIÓN</b>				
<b>PROVEEDOR</b>	<b>ENTRADA</b>	<b>PROCESO</b>	<b>SALIDA</b>	<b>CLIENTE</b>
Proveedor de chatarra CNEL Indura Linde Proveedor de ferroaleaciones Proveedor de carbón Proveedor de escorificantes Proveedor de desoxidantes RHI-Magnesita Brothers TRASTEEL Proveedor de refractarios	Chatarra  Energía eléctrica Energía química Ferroaleaciones Carbón Escorificantes Desoxidantes	Carga de cestas  Horno de arco eléctrico  Horno Cuchara Colada continua	Palanquilla conforme  Merma de proceso (despunte-acero en tortas-palanquilla no conforme mecánico-palanquilla no conforme químico)	Cliente interno laminador  Cliente externo empresas locales Cliente externo empresas internacionales

**Elaborado por autor**

### 2.3.3 CADENA DE VALOR DEL PROCESO PRODUCTIVO

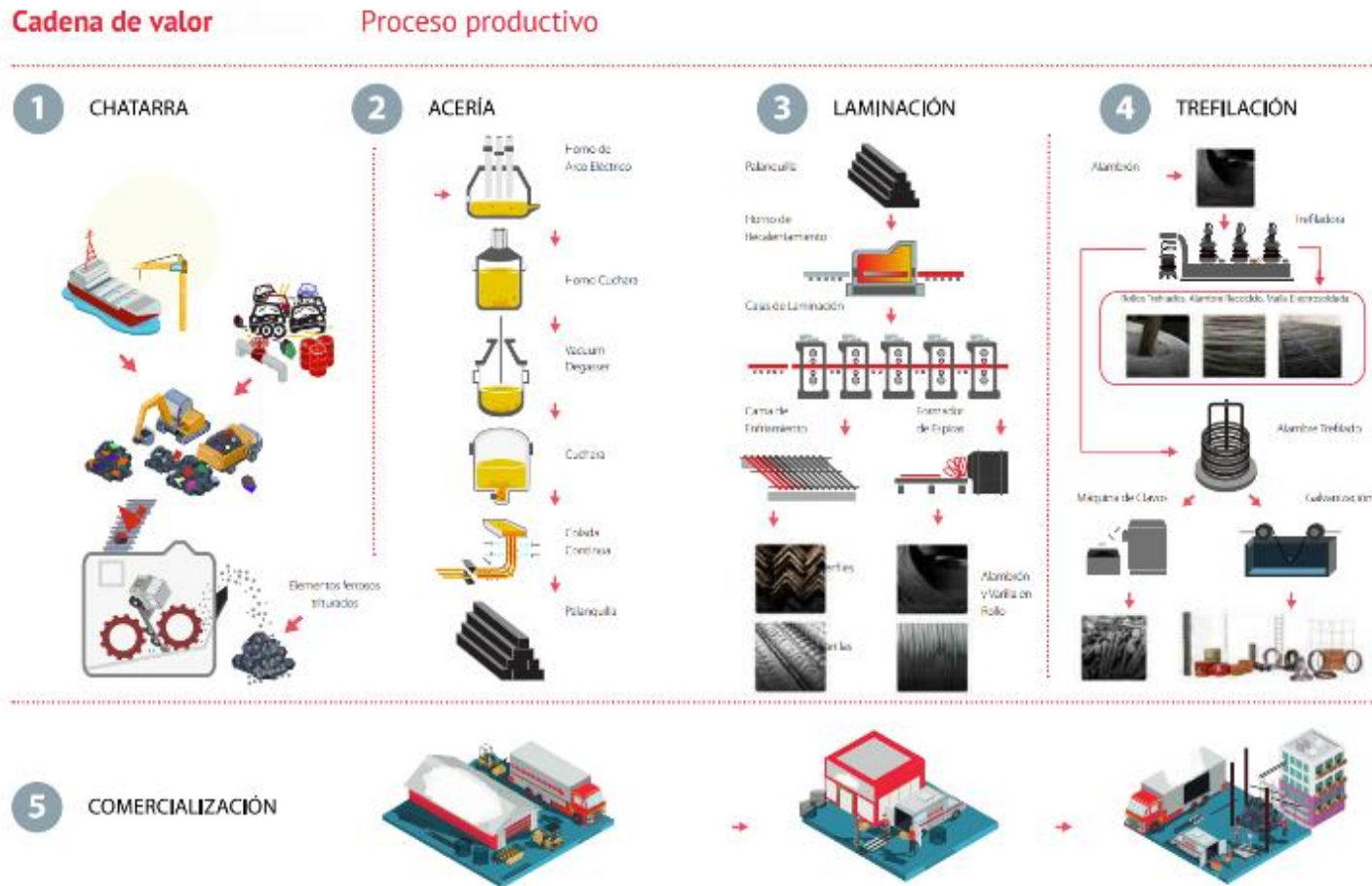


Figura 8. Cadena de Valor del proceso productivo general



### 2.3.4 SITUACIÓN ACTUAL DEL ENTORNO DE LA PRODUCCIÓN

La situación actual del entorno de la producción de la fundidora se basa en el diagnóstico del proceso actual, el cual se caracteriza por la toma de decisiones previo al proceso de producción, se inicia la revisión y el análisis del proceso productivo desde el estudio de los ítems existentes que limitan la gestión de los costos de producción. En el área de fundición es necesario optimizar los costos de producción, para ello se tomó en cuenta los ítems de insumos y materias primas que representan más del 78% de los costos del proceso productivo de la empresa de estudio, se detalla en las siguientes:

**Tabla 2.** Ítems de estudio para la gestión de costos de producción del área de fundición

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Chatarra Hierro fundido Procesado
2	Chatarra HMS
3	Chatarra paca mixta
4	Chatarra para procesar
5	Chatarra placas y estructuras especiales
6	Chatarra shredder nacional
7	Chatarra shredder importada
8	Pig Iron
9	Chatarra bushelling
10	Energía Eléctrica Hornos
11	Energía demanda y servicios
12	Energía eléctrica unidades auxiliares
13	Gas propano
14	Oxígeno
15	Energía eléctrica VSA
16	Ferroaleaciones
17	Carbón
18	Escorificantes

19	Desoxidantes
----	--------------

Fuente: Informe mensual de cadena de valor

Se utilizaron como referencia los costos reales asignados para cada ítem del proceso productivo del área de fundición, durante el periodo comprendido entre mayo, junio y julio de 2020.

**Tabla 3.** Costos consolidados de la cadena de valor del área de fundición de los meses de mayo, junio y julio 2020

<b>TABLA DE CONSOLIDADO DE COSTOS DEL ÁREA DE FUNDICIÓN</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MAYO 2020</b>	<b>JUNIO 2020</b>	<b>JULIO 2020</b>
<b>PRODUCCIÓN</b>	35.275 T	30.180 T	29.965 T
<b>CONSUMO CHATARRA</b>	40.494 T	34.606 T	34.165 T
<b>RENDIMIENTO METÁLICO</b>	87,11%	87,21%	87,71%
<b>COSTO DE MATERIA PRIMA</b>	\$ 414,87	\$ 405,52	\$ 416,60
<b>ESCORIA &amp; TORTAS</b>	\$ -4,44	\$ -6,15	\$ -5,51
<b>MERMA</b>	\$ 61,38	\$ 59,47	\$ 58,39
<b>01.MATERIA PRIMA</b>	\$ 471,81	\$ 458,84	\$ 469,48
<b>02.ENERGÍA</b>	\$ 57,31	\$ 59,45	\$ 57,73
<b>03.INSUMOS</b>	\$ 29,12	\$ 29,94	\$ 26,92
<b>04.CONSUMIBLES</b>	\$ 8,94	\$ 9,58	\$ 8,15
<b>05.MANTENIMIENTO PROPIO</b>	\$ 7,47	\$ 9,40	\$ 8,69
<b>06.REFRACTARIOS</b>	\$ 11,52	\$ 13,24	\$ 11,41
<b>07.APOYO</b>	\$ 1,26	\$ 1,37	\$ 1,48
<b>08.MANO DE OBRA</b>	\$ 8,84	\$ 10,44	\$ 9,48
<b>10.CIF DE OPERACIÓN</b>	\$ 4,99	\$ 4,95	\$ 4,60
<b>11.DEPRECIACIÓN</b>	\$ 15,06	\$ 15,55	\$ 15,67
<b>12.1 ADELANTO DE MTTO ANUAL</b>	\$ -	\$ 3,31	\$ 2,50
<b>12.2. PROVISION - MTTO</b>	\$ 1,80	\$ 1,31	\$ 7,12
<b>13.SERVICIOS Y LOGÍSTICA</b>	\$ 5,80	\$ 6,17	\$ 6,17
<b>COSTO DE CONVERSIÓN</b>	\$ 152,10	\$ 162,09	\$ 153,75
<b>COSTO T/PALANQUILLA</b>	\$ 623,91	\$ 620,93	\$ 623,23
<b>Fuente:</b> Informe mensual de cadena de valor			

## **REVISIÓN DEL PROCESO DE FORMACIÓN DE ESCORIA ESPUMOSA EN EL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO**

**El principio de fundición del horno de arco eléctrico se divide en las siguientes etapas principales:**

**Carga de chatarra:** El proceso de fundición inicia cuando la chatarra se encuentra cargada en el horno de arco eléctrico e inicia el arranque de la fundición.

### **Inicio de fundición**

Después de realizar la carga del horno eléctrico, se realiza la activación del arco eléctrico fundiendo la carga chatarra, formando una concavidad en la carga metálica donde penetran los electrodos hasta que se llega a formar un baño de acero líquido el cual permite mantener un arco en forma estable

### **Fusión**

En esta etapa se eleva la potencia a su nivel máximo de operación del horno de arco eléctrico, y se mantiene hasta completar la fusión de la carga completa, alcanzando una temperatura de 1580°C, también en algunas plantas siderúrgicas realizan la alimentación fundente, escorificantes y carburantes dosificados, entre otras.

### **Afino**

En la etapa de afinado se inicia el proceso de formación de escoria del horno eléctrico, se revisan y se ajustan las condiciones del baño de acero líquido para vaciar a la cuchara (recipiente para contener acero líquido), se ajusta la temperatura requerida por la práctica operativa indicada por el área de proceso, el ajuste de carbón y ppm (partículas por millón) de O<sub>2</sub>, después de obtener los resultados de la composición química y realizar la fundición completa de la chatarra, el horno de arco eléctrico inicia los pasos requeridos para realizar el vaciado de acero.

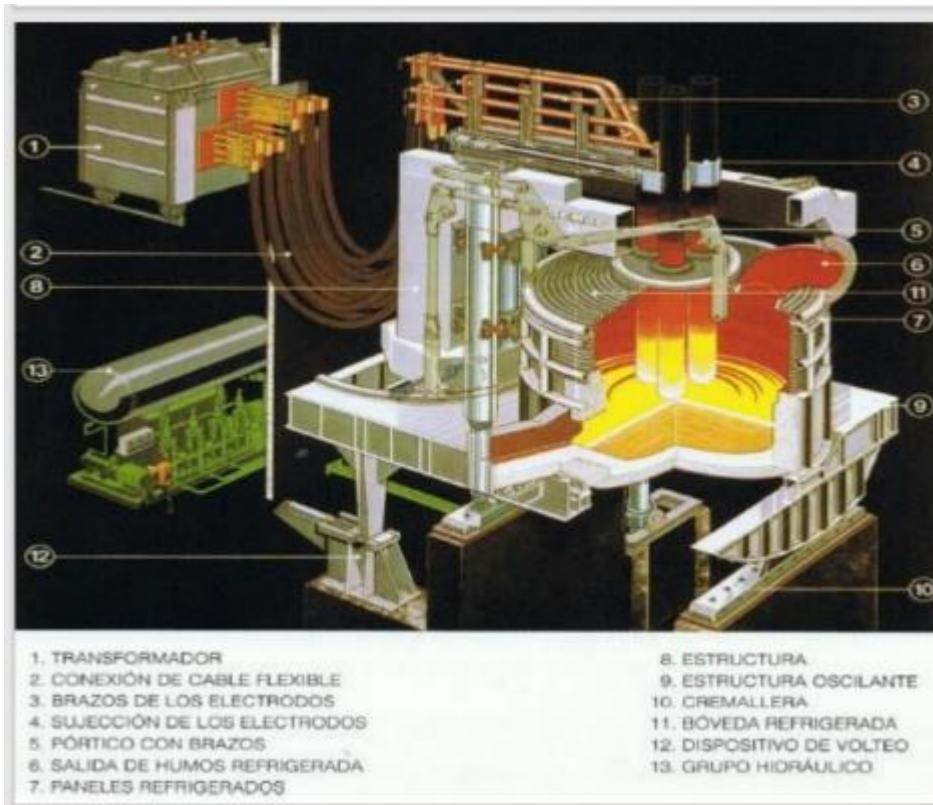
## **Vaciado**

Después que se ha realizado la fundición de la carga completa de chatarra y se han obtenido las condiciones de proceso de temperatura y análisis químico de acuerdo al SAE o lote a fabricar, se procede a vaciar el acero del horno de arco eléctrico a la cuchara para continuar el proceso de producción del en el horno cuchara.

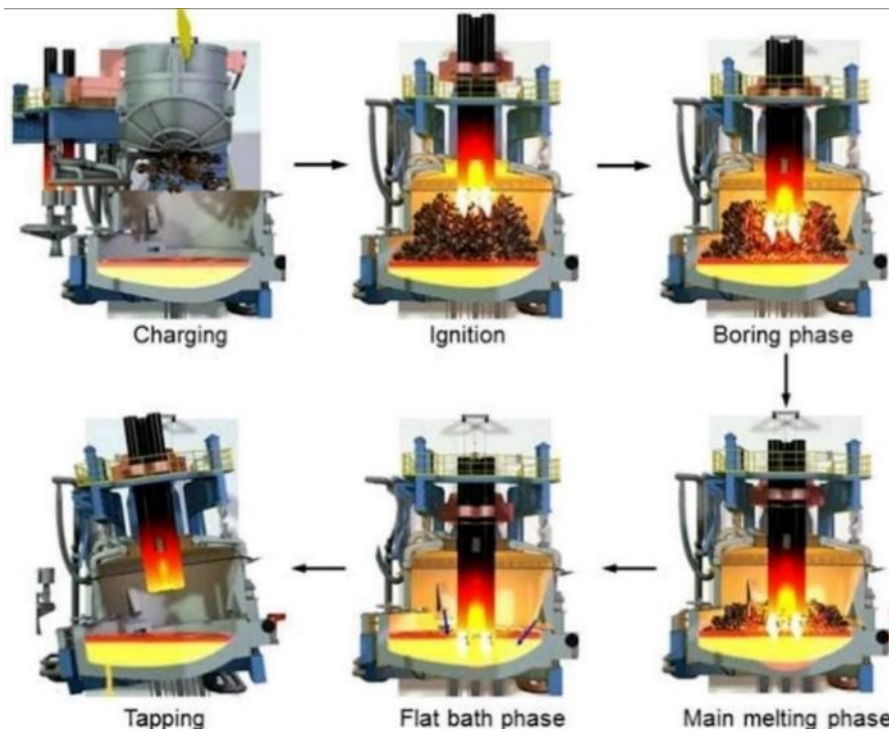
## **Reparación de puerta y colocación de arena en canal de vaciado**

Realizado la fundición completa de una colada, el cuerpo del horno eléctrico (cuba inferior) se voltea o inclina hacia el lado de la puerta de escoriación, se realiza la limpieza del orificio del canal excéntrico vaciado (canal EBT), se eliminan la escoria, cal o cualquier componentes remanentes de la fundición anterior que puedan ocasionar obstrucción del canal excéntrico de vaciado y se procede a realizar la colocación de arena; así como la inspección de estado del refractario, tamaño de electrodos, estado de los paneles enfriados con agua y realizando la reparación de la puerta de escoriación del horno de arco eléctrico.

Las etapas de fundición del horno de arco eléctrico están definidas de acuerdo a una receta de fundición. Esta receta posee “pasos” o etapas de fundición de acuerdo a número de cesta de chatarra ingresada, cada paso especifica la etapa de fundición en la que se encuentra la chatarra dentro del horno eléctrico, la receta posee los siguientes indicadores de fundición del horno de arco eléctrico: Energía específica kwh/ton, cambiador de tomas de corrientes, ganancia de regulación de arco, perfil de quemadores e inyectores, y ventilador de planta de humos. La fundición de chatarra del horno eléctrico se divide en 5 etapas, carga de cesta 1, carga de cesta 2, carga de cesta 3, etapa de afino y vaciado.



**Figura 9.** Componentes del horno de arco eléctrico



**Figura 10.** Ejemplo de etapas de fundición del horno de arco eléctrico desde la carga de chatarra hasta el vaciado

## PERFIL DE FUNDICIÓN DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO CESTA 1

**Tabla 4.** Perfil de fusión del horno de arco eléctrico Cesta 1

PERFIL DE FUSION ACTUAL CESTA 1	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PASO 8	PASO 9	PASO 10
Energía específica kwh/ton	19	29	135	145	155	173	175	185	221	255
Cambiador de tomas	12	18	18	17	17	17	17	17	17	16
Curva de corriente	6	6	6	3	3	3	3	3	3	6
Ganancia de regulación Arco %	50	60	70	80	90	90	100	100	120	120
Perfil de inyector #1	7	8	8	8	9	10	13	17	17	17
Perfil de inyector #2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perfil de Quemador #03	7	8	8	8	9	10	13	17	17	17
Perfil de Quemador #4	7	8	8	8	9	10	13	15	15	0
Inyector de carbón #01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inyector de carbón #02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FTP Configuración de succión de planta de humos en mmH20	-50	-50	-50	-50	-50	-70	-70	-90	-90	-100

**Fuente:** Información adquirida de empresa de estudio

## PERFIL DE FUNDICIÓN DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO CESTA 2

**Tabla 5.** Perfil de fusión del horno de arco eléctrico Cesta 2

PERFIL DE FUSION ACTUAL CESTA 2	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PASO 8	PASO 9	PASO 10
Energía específica kwh/ton	17	55	145	155	175	181	183	185	189	199
Cambiador de tomas	12	18	17	17	17	17	17	17	17	16
Curva de corriente	6	6	3	3	3	3	3	3	3	6
Ganancia de regulación Arco %	50	60	70	80	90	95	100	100	120	120
Perfil de inyector #1	7	8	8	9	10	13	15	17	17	17
Perfil de inyector #2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perfil de Quemador #03	7	8	8	9	10	13	15	17	17	17
Perfil de Quemador #4	7	8	8	9	10	13	15	15	15	15
Inyector de carbón #01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inyector de carbón #02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FTP Configuración de succión de planta de humos en mmH20	-50	-50	-50	-50	-50	-60	-60	-70	-90	-90

**Fuente:** Información adquirida de empresa de estudio.

### PERFIL DE FUNDICIÓN DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO CESTA 3

**Tabla 6.** Perfil de fusión del horno de arco eléctrico Cesta 3

<b>PERFIL DE FUSION ACTUAL CESTA 3</b>	<b>PASO 1</b>	<b>PASO 2</b>	<b>PASO 3</b>	<b>PASO 4</b>	<b>PASO 5</b>	<b>PASO 6</b>	<b>PASO 7</b>	<b>PASO 8</b>	<b>PASO 9</b>	<b>PASO 10</b>
<b>Energía específica kwh/ton</b>	11	95	135	165	181	183	185	215	235	245
<b>Cambiador de tomas</b>	12	18	17	17	17	17	17	17	17	17
<b>Curva de corriente</b>	6	6	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Ganancia de regulación Arco %</b>	60	70	80	90	100	120	120	120	120	120
<b>Perfil de inyector #1</b>	7	8	9	9	13	13	13	17	17	17
<b>Perfil de inyector #2</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Perfil de Quemador #03</b>	7	8	9	9	13	13	13	17	17	17
<b>Perfil de Quemador #4</b>	7	8	9	9	13	13	13	15	15	15
<b>Inyector de carbón #01</b>	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3
<b>Inyector de carbón #02</b>	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3
<b>FTP Configuración de succión de planta de humos en mmH20</b>	-50	-50	-50	-70	-90	-90	-90	-90	-90	-100

**Fuente:** Información adquirida de empresa de estudio



## PERFIL DE FUNDICIÓN DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO AFINO

Durante la etapa de afino el horno de arco eléctrico inicia el proceso de formación de escoria, el cual es muy importante para la protección del refractario, protección de los electrodos, consumo de energía, factor de potencia, protección de paneles.

**Tabla 7.** Perfil de fundición del horno de arco eléctrico etapa de afino

PERFIL DE FUSION ACTUAL AFINO	PASO	PASO	PASO	PASO	PASO	PASO	PASO	PASO	PASO	PASO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energía específica kwh/ton	13	25	49	59	61	69	89	105	145	175
Cambiador de tomas	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16
Curva de corriente	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6
Ganancia de regulación Arco %	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Perfil de inyector #1	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17
Perfil de inyector #2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perfil de Quemador #03	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17
Perfil de Quemador #4	15	15	15	0	0	0	0	0	0	0
Inyector de carbón #01	4	4	4	2	2	2	3	3	3	3
Inyector de carbón #02	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
FTP Configuración de succión de planta de humos en mmH20	-110	-110	-110	-110	-110	-110	-110	-110	-100	-100

Fuente: Información adquirida de empresa de estudio

## **PROCESO DE FORMACIÓN DE ESCORIA EN LA ETAPA DE AFINO DE ACUERDO AL PERFIL DE FUSIÓN DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO**

Cuando la chatarra se carga en el horno de arco, la densidad de la chatarra varía según la mezcla de chatarra proporcionada por el arreglo entre el patio de chatarra o el área de fundición. Por tanto, la densidad media de la carga de chatarra mixta en hornos de arco eléctrico (EAF) oscila entre 0,82 t/m<sup>3</sup> y 1,50 t/m<sup>3</sup>. Durante las etapas de producción de la mezcla o mezcla residual, en el primer cesto se distribuyen los escorificantes adecuados como: cal cálcica, cal dolomita, carbón de cesta, mientras que en otras fundiciones se suele añadir coque, carbón de cesto o más comúnmente conocida como antracita cruda. El óxido de calcio y la cal dolomítica forman escorias y son los principales formadores de escorias ya que su función es atrapar las impurezas (óxidos) liberadas, durante el proceso y su función principal es proteger los ladrillos refractarios por su contenido en óxido de magnesio (MgO) como componente. Al formar escoria espumosa en el horno de arco eléctrico en la etapa de afino, juegan un papel central muy importante en el proceso de fabricación de acero, y el arco creado por los electrodos se usa para elevar la temperatura del acero fundido. Importante rango de operación en el afino debe ser entre 1580°C a 1680°C, con el objetivo de realizar el vaciado del acero líquido desde el horno de arco eléctrico a través del EBT (canal excéntrico de vaciado) hacia el horno cuchara.

La escoria espumada se caracteriza de manera principal por motivos de que se encarga de captar, sujetar o atrapar las impurezas que se encuentran en el baño líquido como forma de óxidos y estas influyen en la naturaleza de la formación del acero líquido en la etapa de afino, además la escoria espumosa permite que la energía eléctrica de los electrodos pase directamente al acero líquido, previniendo el desgaste físico y sintético desmesurado de los refractarios del horno de arco eléctrico. Por estos indicadores es

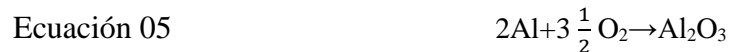
importante ejecutar un estudio de los compuestos del proceso productivo intervenidos y se relacionan la generación de la escoria espumosa, las variables a analizar son las siguientes: la disposición de la chatarra en el patio, las características de la calidad de materia prima y la etapa de afino en el horno de arco eléctrico (EAF). Así mismo, es importante analizar la espumación de la escoria mediante un análisis químico con el fin de examinar los componentes de la escoria, entre ellos: composición del óxido de hierro (FeO) atrapado en la escoria, la saturación del óxido de magnesio (MgO), la viscosidad, la densidad y por último la basicidad binaria.

Para encontrar las propiedades necesarias entre ellas (basicidad binaria y porcentaje de óxido de hierro (FeO) que mejoren la espumación de la escoria, se debe de analizar curvas que relacionan estas propiedades.

Comprender las propiedades físicas y químicas de la escoria y las reacciones y mecanismos de su formación es muy importante en la producción de acero fundido, ya que juega un papel importante en la reducción de los costos del proceso. En la industria siderúrgica hay una frase relevante “El operador de fundición que tiene la habilidad de producir escoria será capaz de producir acero”. Las escorias efervescentes proporcionan una transferencia de calor uniforme al baño líquido, reducen el tiempo de operación, protegen los refractarios del arco y reducen el desgaste debido a su compatibilidad, controlan los niveles de óxido para evitar pérdidas excesivas, desfosforan el acero y protegen el acero de la corrosión. La absorción de hidrógeno y nitrógeno reduce la dureza del acero y es difícil de eliminar del acero.

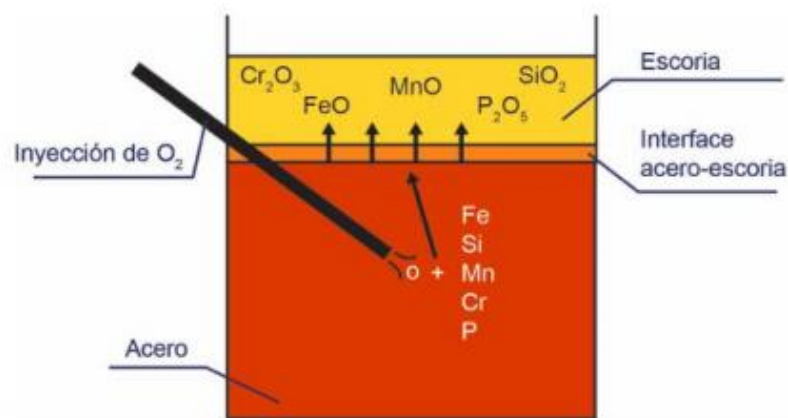
La escoria es la sumatoria o mezcla no metálica que se encuentra conformada por diversos o algunos componentes, entre ellos se destacan los siguientes: fluoratos, sulfatos, óxidos, fosfatos, entre otros, los cuales se presentan en fase líquida o en fase sólida a la temperatura de proceso de los metales reaccionados en el proceso, también

están presentes en todas las etapas de la producción de acero, afectando la reacción de limpieza del horno de arco y, en muchos casos, el desgaste de los equipos (ladrillos refractarios, electrodos). Durante la etapa de afino del horno de arco eléctrico (EAF), inicia el proceso de inyección de oxígeno como lanza, y esta carga de oxígeno reacciona con el hierro (Fe), manganeso (Mn), cromo (Cr), silicio (Si), aluminio (Al) y otros compuestos, los cuales forman los correspondientes óxidos de cada elemento como se muestra a continuación:



La mayor cantidad de estos óxidos depende de la cantidad de los elementos químicos que se encuentran dentro del baño durante la etapa de afino del horno de arco eléctrico y la existencia de oxígeno (partículas por millón-ppm) que se encuentren presentes en el baño líquido. Las partículas por millón (PPM) de oxígeno son medidas con una lanza especial con características electrónicas para comprobar la oxidación del acero en el proceso de producción durante la etapa de afino del horno de arco eléctrico. Estos óxidos atrapados en la escoria al caracterizarse por tener menos densidad que el acero líquido, flotan a la superficie de la escoria y son absorbidos por la propia escoria abriendo camino para que el hierro remanente se oxide. En la etapa de afino del horno eléctrico el acero que se encuentra en estado líquido posee contenido carbono el cual tiene afinidad mediante la oxidación de las lanzas de oxígeno (energía química)

ingresada al baño provocando burbujas de monóxido de carbono (CO). Además, en el baño de acero fundido existen otros óxidos, que forman parte de la composición de la escoria, a través de la cal cálcica añadido como CaO (óxido de calcio) y por medio de la cal dolomítica añadido como MgO (óxido de magnesio), algunos componentes en la escoria también se encuentran están mezclados a través con la chatarra como óxido de hierro (FeO) y tierra con un alto grado de sílice (SiO<sub>2</sub> o dióxido de silicio), MgO (óxido de magnesio) de la cal dolomítica también puede provenir del desgaste continuo de los ladrillos refractarios por su alto contenido de MgO,



**Figura 11.** Oxidación de los diferentes compuestos del acero en la etapa de afino del horno de arco eléctrico

La cal o mejor conocida como óxido de calcio es el principal formador de escoria en la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico (EAF) y debe tener un tamaño constante o un tamaño entre 0,03 cm y 1,5 cm en lugar de un tamaño más pequeño. La cal, que es la de menor tamaño en tamaño de partícula (menos de 0,03 mm), absorbe el calor más rápidamente porque su mayor superficie y hace que el material sea rápido fundido. Cuanto mayor sea el tamaño del grano de cal cálcica, mayor será el consumo de electricidad en el horno de arco eléctrico. La cal debe de poseer aproximadamente el 90 % de óxido de calcio para impedir que se gaste energía extra en la incineración de la

cal, es perjudicial colocar cal que no se encuentre correctamente calcinada, tampoco puede ser mayor debido a que un mayor nivel de concentración provocaría un elevado consumo de energía en el horno de arco eléctrico en la etapa de afino del EAF y mayor elevado power on (Tiempo de encendido). La cal cálcica como la cal dolomítica antes del ingreso en el horno de arco eléctrico (EAF) y en el horno cuchara (LF) debe ser realizado un muestreo en un laboratorio de control de calidad del área de fundición con el objetivo de obtener la composición química. En la tabla 3 muestra, la nomenclatura y el rango de componentes para cal dolomítica y cal cálcica.

**Tabla 3.** Componentes químicos de cal cálcica y dolomítica usados en el HEA en coladas de pruebas del año 2020

<b>Nomenclatura</b>	<b>Compuesto</b>	<b>Cálcica</b>	<b>Dolomítica</b>
Óxido de calcio	(%) CaO	96-97	56,41
Óxido de magnesio	(%) MgO	0,41-0,81	32,41
Azufre	(%) S	0,011-0,041	0,0091
Silicio	(%) Si	0,31-0,82	0,15
Dióxido de carbono	(%) CO <sub>2</sub>	1,41	9,25
Agua	(%) H <sub>2</sub> O	0,51-0,81	0,771

**Fuente:** Información adquirida de empresa de estudio

La función principal de los reactivos o componentes con alto contenido de carbono, como el carbón de canasta o el coque, es ayudar en la generación de la escoria espumosa a la formación de monóxido de carbono (CO) en el baño mediante la interacción química entre el carbono y el oxígeno en la etapa de afino del EAF.

Por esta razón, el contenido de carbono generalmente se coloca en la cesta de chatarra el “carbón canasta”, que es la más favorable para la formación de espumosa es escoria, porque las burbujas emergen del acero fundido en estado líquido. Sin embargo, en el proceso de refinación del horno de arco eléctrico (EAF), el carbón de inyección y la antracita fina, o carbón reactivo como se le conoce más comúnmente, se inyecta oxígeno a través de una lanceta dirigida manualmente sobre la escoria. Hoy, en algunas plantas, el carbón de inyección se alimenta a través de un quemador.

La escoria tiene un volumen 9 veces mayor durante el afino del horno de arco eléctrico (EAF) esta escoria se caracteriza por ser convencional debido a la formación de burbujas que son atrapadas en la escoria por la afluencia de partículas sólidas de óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO). El (CO) monóxido de carbono puede producirse a través del carbono alimentando junto con la chatarra o a través de la reacción entre el carbono (C) inyectado en el afino con el óxido de hierro (FeO) como se muestra en las siguientes reacciones.

- Ecuación 06:  $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$
- Ecuación 07:  $FeO + C \rightarrow Fe + CO$

Luego, para generar una buena escoria espumada, la reacción exotérmica se lleva a cabo introduciendo primero oxígeno en la fase líquida para formar óxido de hierro (FeO) y luego realizando la inyección de carbono (C) en la interfaz del baño líquido del proceso de afino.

### **Componentes químicos de la escoria.**

La composición de las escorias suele expresarse por los óxidos que la componen, siendo su color un buen indicador de su calidad, composición y tiempo de tratamiento, suele ser de color oscuro cuando se endurece por la presencia de óxidos de hierro, si la escoria es de color negro posee óxido de hierro atrapado, esto nos indica que estamos perdiendo

hierro atrapado en la escoria afectando el rendimiento del acero en pocas proporciones, si la escoria es color blanco indica su correcto estado de desoxidación y se formó una escoria adecuada (aplica para metalurgia secundaria), si es color verde aún falta realizar proceso de adecuación de escoria.

- **Compuestos de la escoria:** La escoria está formada por diferentes compuestos que se encuentran presentes la gran mayoría posee influencia significativa en su viscosidad, aumentándola o disminuyéndola. Los compuestos, que minimizan la viscosidad de la escoria son llamados fluidizantes, siendo los principales: Se destacan fluorita ( $\text{CaF}_2$ ), óxido de hierro ( $\text{FeO}$ ), óxido de manganeso ( $\text{MgO}$ ), sílice ( $\text{SiO}_2$ ), trióxido de dicromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), alúmina y otros óxidos como el óxido de calcio y óxido de magnesio que son llamados como óxidos básicos importantes para el refractario, se utiliza el equipo de S2 para realizar el análisis de composición química de escoria como se puede observar en la figura 16.

A continuación, se muestra la tabla 4 la composición más común de la escoria y su fuente de origen



**Figura 12.** Escoria Espumosa en la etapa de afino del EAF



**Tabla 4. Composición y fuentes típicas de la escoria.**

Compuesto	Nomenclatura	Fuente
CaO	Óxido de calcio, cal	Se encuentra adicionado como cal cálcica y refractarios (59% CaO - 41% Mg), se agrega deliberadamente a través de la cesta de chatarra
MgO	Óxido de magnesio, magnesia	Se encuentra adicionado como cal dolomítica y refractarios (57% CaO - 36% Mg), incluso se puede obtener del desgaste del refractario,
SiO <sub>2</sub>	Oxido de silicio, sílice	Como tierra (chatarra) u oxidación del silicio en el acero
FeO	Óxido de hierro	Oxidación del Fe en el acero obtenido por oxidación del acero y la chatarra
MnO	Óxido de Manganeseo	Oxidación del Mn en el acero
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de aluminio, alúmina	Oxidación del Al del acero o adicionado
CaF <sub>2</sub>	Fluorita	Adicionado
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de fosforo, oxido de fosforo	Oxidación del P en el acero

**Propiedades de la escoria:**

Las escorias poseen una serie de propiedades, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Basicidad

- Viscosidad
- Estabilidad
- Densidad

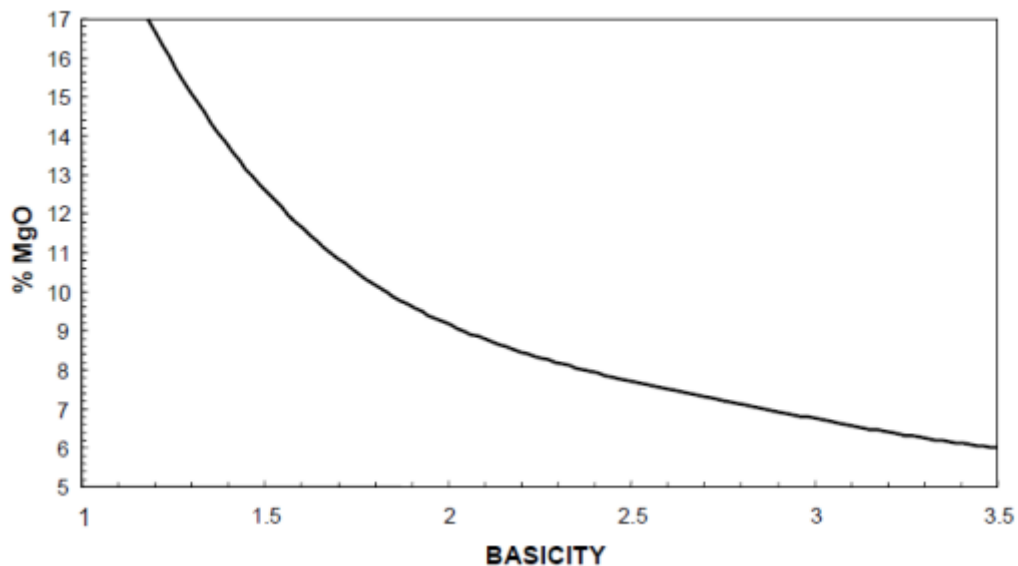
### **Basicidad.**

La basicidad es la relación entre los óxidos básicos sobre los óxidos ácidos. En la escoria los componentes capaces de dotar o entregar aniones de oxígeno (O<sub>2</sub>), el MgO (óxido de magnesio) y CaO (óxido de calcio) son considerados como óxidos básicos mientras que los que captan o atrapan estos aniones se les considera óxidos ácidos como por ejemplo el dióxido de silicio o sílice (SiO<sub>2</sub>), trióxido de dialuminio o alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de hierro (FeO), óxido de manganeso (MnO) y pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Se requiere una gran cantidad de óxidos básicos para formar una adecuada escoria para el proceso de producción, manteniendo un equilibrio con los óxidos ácidos y los óxidos básicos lo cual ha permitido obtener diferentes definiciones en fórmulas sobre la basicidad, a continuación, en la tabla 5 se muestra los diferentes los tipos de basicidad que influyen en la formación de la escoria espumosa.

**Tabla 5.** Tipos de basicidad

Tipo	Enunciado	Formula
Basicidad simple o binaria	Relación existente en el porcentaje de óxido de calcio y sílice u óxido de silicio.	Basicidad Binaria (B2) = $\frac{\%CaO}{\%SiO_2}$
Basicidad terciaria	Relación que existe entre el óxido de calcio con la sumatoria del óxido de	Basicidad terciaria (B3) = $\frac{\%CaO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3}$

	silicio y la alúmina.	
Basicidad cuaternaria	Relación del valor resultante de la suma de los óxidos básicos CaO, MgO, entre el valor resultante del sumo de los óxidos ácidos SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	Basicidad Cuaternaria (B4) = $\frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3}$



**Figura 13.** Solubilidad de óxido de magnesio (MgO) para escorias con doble saturación respecto a óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO) a 1600°C

En la figura 13 se puede observar la saturación límite de MgO (óxido de magnesio) disminuye a medida conforme al incremento de la basicidad de la escoria, la cual es una característica importante de este gráfico es el aumento de la solubilidad del MgO (óxido de magnesio) para escorias de basicidad inferior a 2.0. En algunos casos, la escoria inicial que es formada en el horno de arco eléctrico (EAF) puede tener una basicidad baja o algunos casos se encuentra muy líquida, (esto se da cuando el acero no se

encuentra totalmente fundido a temperatura de 1530<sup>OC</sup>) resultando una solubilidad alta el Óxido de magnesio (MgO). La adición de dolomita o cal dolomítica con alto contenido de MgO en la primera cesta de chatarra proporciona el contenido adecuado de Óxido de magnesio (MgO) para la saturación de la escoria presente en el afino sea la más adecuada, minimizando el desgaste de los refractarios en el fondo (solera) y en las zonas laterales del horno (bandas).

### **Viscosidad**

La viscosidad se define como la característica de resistencia de la escoria al flujo en estado líquido. La escoria mientras mantenga mayor su viscosidad menor será su fluidez y viceversa. El poise es la unidad de medida mayor utilizada para realizar la medición de la viscosidad en el acero. La viscosidad de la escoria influye en el proceso de formación del acero en la etapa de afino del horno de arco eléctrico, mientras menor sea la viscosidad de la escoria en el acero, mayor será la velocidad de las reacciones químicas en el acero, aumentando también el desgaste de refractarios dentro del horno de arco eléctrico. También otra de la característica, la viscosidad del acero es inversamente proporcional a la temperatura del acero, es decir su viscosidad disminuye al elevar la temperatura

A continuación, en la tabla 6 se presenta una tabla de comparación de algunos elementos químicos, se proporciona una comparación de la viscosidad en escala Poise y temperatura en grados Celsius, donde se puede ver que la viscosidad está directamente relacionada con la temperatura.

## VISCOSIDAD DE ALGUNOS ELEMENTOS

**Tabla 6.** Tabla de composición de viscosidad

Tabla de comparación de viscosidad

Compuesto	Temperatura °C	Viscosidad (Poise)
Agua	25	0,01
Acero	1600	0,06
Escoria a temperatura de 1400	1400	1,5

La viscosidad de la escoria es afectada por la temperatura cuanto mayor es la temperatura, menor es la viscosidad de la escoria, esto se evidencia durante el vaciado del horno eléctrico a temperaturas de 1690°C del acero líquido, la escoria se encuentra líquida en el vaciado y no se puede observar claramente, ocasionando problemas de afinación en la metalurgia secundaria del horno cuchara. En la figura 14 y 15. Se puede observar un ejemplo de toma de temperatura del horno de arco eléctrico y el equipo utilizado para obtener la información del acero líquido.



**Figura 14.** Medición de temperatura de acero líquido en horno de arco eléctrico.



**Figura 15.** Maquina Heraus receptora de señal de medición de temperatura y nivel de oxidación del acero líquido en la etapa de afino



**Figura 16.** Equipo analizador de escoria S2 puma Marca Bruker

### **Estabilidad**

La estabilidad indica la tendencia de extracción de un óxido desde el acero hacia la escoria. La estabilidad de un componente es importante debido a que mientras mayor sea su estabilidad beneficiará a la separación de la escoria. El cobre tiene menor estabilidad, por consiguiente, la separación del acero mediante la oxidación es

imposible, por consiguiente, el residual de cobre (Cu) queda atrapado en el acero como se logra apreciar en la tabla 8 que se muestra a continuación. Por tanto, es necesario comprobar la presencia de este compuesto en las materias primas añadidas al horno de arco eléctrico, de carácter importante que es la materia prima (chatarra). El óxido de calcio (CaO) o mejor conocido como “cal” y el óxido de magnesio (MgO), tiene alta estabilidad, siendo fácilmente absorbidas por la escoria. El pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) tiene baja estabilidad, a medida que la temperatura de la escoria sube en la etapa del afino del horno de arco eléctrico (EAF), menor será su adherencia a la escoria y por lo tanto quedará atrapada en el acero líquido.

**Tabla 8.** Estabilidad de óxidos en escorias

Estabilidad de óxidos en la escoria	
Rango	Compuesto
Baja estabilidad	óxido de cobre
	óxido de fosforo
	óxido de hierro
Media estabilidad	Óxido de manganeso
	Óxido de cromo
	Óxido de silicio
	Alúmina
Alta estabilidad	Óxido de calcio
	Óxido de magnesio

### **Densidad.**

La densidad se define como la relación que existe entre la masa ocupada en un determinado volumen. La unidad de medida por utilizar en la densidad de la escoria es g/cm<sup>3</sup>.

La densidad en la escoria del acero se encuentra dentro de un rango desde 2 hasta 4 g/cm<sup>3</sup> o 2000 kg/m<sup>3</sup> mientras que el acero tiene una densidad desde 7 g/cm<sup>3</sup> o 7000

kg/m<sup>3</sup> en la fase de afino del horno de arco eléctrico, la densidad del acero es mayor que la de la escoria, la escoria se mantiene sobre el acero cuando se encuentra en estado líquido y es fácil realizar la escorificación del horno eléctrico con el fin de eliminar las impurezas del acero y facilitar su desoxidación en el vaciado

### Efecto del óxido de hierro (FeO) en la escoria.

El óxido de hierro (FeO) es uno de los óxidos fluidizados de mayor composición en el proceso de formación de la escoria y es uno de los más importantes por motivos del rendimiento metálico atrapado con el oxígeno. El FeO tiene una gran influencia en la viscosidad de la escoria, para lograr una relación adecuada es necesario encontrar la mejor relación de inyección de carbono y oxígeno, el primero lo forma y el segundo lo desoxigena, lo que da como resultado buenas propiedades de espuma y metal como se muestra en la Figura 17.

### Equilibrio con el acero



Figura 17. Equilibrio de la escoria con el acero

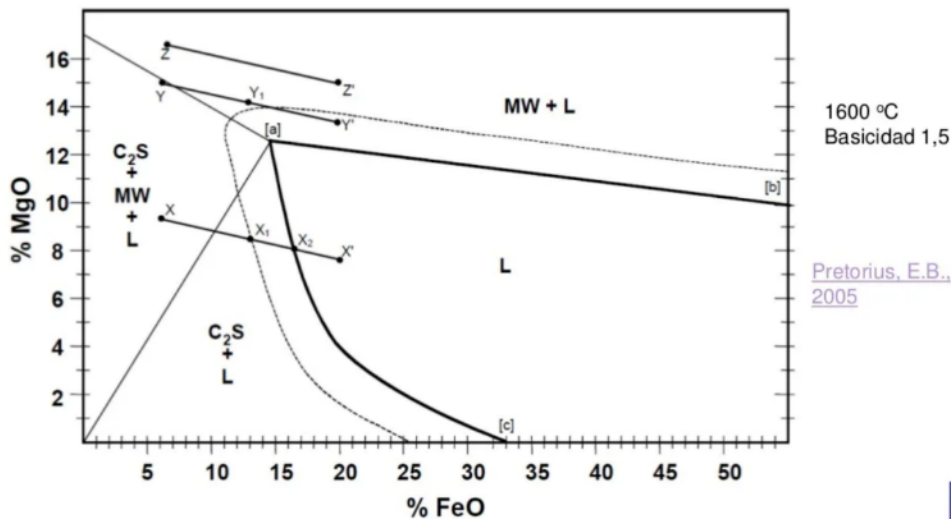


### **Saturación del óxido de magnesio (MgO) en la escoria del horno de arco eléctrico durante la etapa de afino.**

El diagrama de estabilidad isotérmica es una herramienta que nos permite determinar la saturación correcta de óxido de magnesio (MgO) en la formación de escoria y lograr una formación de espuma de escoria adecuada. El diagrama de estabilidad isotérmica nos muestra la interrelación entre las fases conformadas por el óxido de magnesio MgO (MW), óxido de calcio CaO (C2S) y para escoria líquida, se puede marcar a partir de componentes de escoria (óxido de magnesio MgO y óxido de calcio) CaO.

Estos diagramas fueron creados para una determinada basicidad y temperatura concreta, existen varios tipos de diagramas a distintas basicidades, como el mostrado en la figura 18 que se desarrolla a una temperatura de 1600 °C con una basicidad de 1.5. La saturación de óxido de magnesio (MgO) durante el proceso de producción es clave para evitar un desgaste agresivo del ladrillo refractario por el uso de óxido de magnesio (MgO) en la escoria, así como para asegurar una adecuada formación de espumosa, manteniendo una saturación de MgO adecuada beneficiará en el tiempo de vida útil del refractario. El óxido de hierro (FeO) juega un papel importante en la formación de escoria, Pretorius y Carlisle han establecido mediante estudios realizados los diagramas de estabilidad isotérmicos para ver el efecto de este componente en la solubilidad del óxido de magnesio en la escoria.

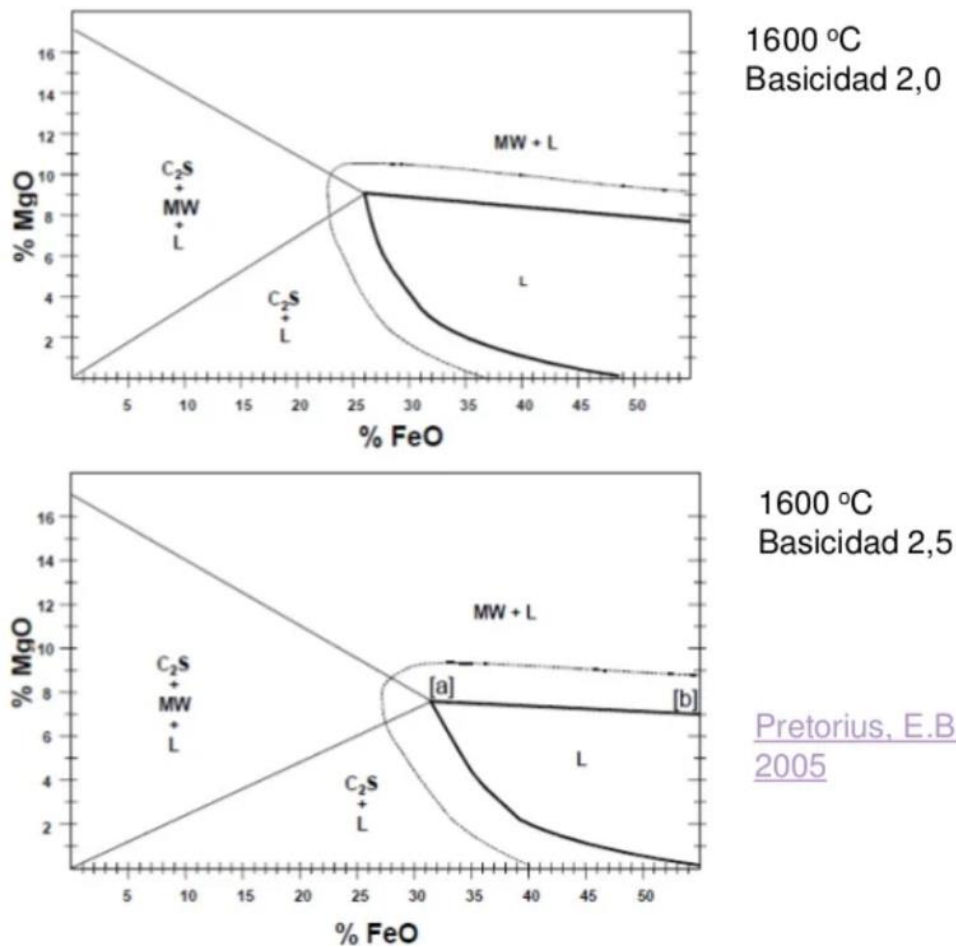
□ Espumado



**Figura 18.** Diagramas de estabilidad isotérmica (ISD) para basicidades binarias de 1.5 a una temperatura de 1600 °C, Donde  $C_2S=Ca_2SiO_4$ , MW = Magnesio-Wustita y L = líquido. Fuente: Pretorius, EB y Carlisle.

El punto 'a' de este gráfico es el punto de doble saturación del óxido de magnesio (MgO) y el óxido de calcio (CaO) en la superficie del líquida, que está determinado por el gráfico de Solubilidad de MgO (óxido de magnesio) para escorias con doble saturación respecto a óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO) a temperatura de 1600°C. Las líneas de líquido o curvas de saturación se originan en el extremo "a", definido como a-b y a-c para óxido de magnesio (MgO) y óxido de calcio (CaO) saturados, respectivamente. Las curvas de saturación y las líneas de fase de estabilidad (CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-FeO) se generaron a partir del sistema. La figura 19, nos indica la caracterización por una gran zona líquida. Las escorias de esta categoría tienen malas propiedades espumantes debido a la baja viscosidad de la escoria y la falta de partículas de segunda fase formadas por la escoria. A medida que aumenta el nivel de óxido de hierro (FeO), también lo hace la fracción líquida. Otra parte importante de la caracterización de este cuadro es que la solubilidad del óxido de magnesio (MgO)

disminuye a medida que aumenta el contenido de óxido de hierro (FeO) con el óxido de calcio (CaO).



**Figura 19.** Diagramas de estabilidad isotérmica (ISD) para basicidades binarias de 2 a 2.5 a una temperatura de 1600 °C, Donde C<sub>2</sub>S=Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, MW = Magnesio-Wustita y L = líquido.

## FUNDAMENTOS REQUERIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE ADECUADA ESCORIA ESPUMOSA

Un componente importante de la viscosidad es el contenido de óxido de hierro (FeO), que puede modificarse mediante condiciones adecuadas de inyección de oxígeno y carbono en la etapa de afino del horno de arco eléctrico. La formación de escoria está controlada por varios factores que pueden controlarse durante el proceso. Por lo tanto,

uno de los factores más discutidos es la viscosidad, que debe tener una consistencia cremosa y puede controlarse ajustando la temperatura, la alcalinidad y la química.

En la etapa de afino se forma la reacción de oxidación del carbono (C) y desoxidación del óxido de hierro (FeO) con el carbono (C) inyectado por los quemadores, por la generación de monóxido de carbono (CO) durante la etapa del afino en el horno de arco eléctrico.

- $C + FeO = CO + Fe$  = Oxidación de carbono (C) del acero por el óxido de hierro (FeO) de la escoria
- $C + 1/2 O_2 = CO$  (Reacción entre el carbono (C) en el acero y Oxígeno (O<sub>2</sub>) gaseoso)
- $FeO + C = CO + Fe$  (Reacción directa entre FeO de la escoria y C inyectado)

El carbón cargado en forma de antracita gruesa o mejor conocido como carbón canasta ayuda en la oxidación del acero y aporta el 25% del horno de escoria espumosa (EAF) en las etapas de afino del horno de arco eléctrico. El óxido de hierro (FeO) afecta la saturación de estos compuestos, pero el tamaño de partícula, la composición química y el grado de combustión de las materias primas utilizadas también afectan la formación de escoria. A continuación, se muestra las condiciones que inciden en la generación de diferentes escorias espumantes:

- El rango de 1.72 hasta 2.3 es la basicidad binaria adecuada.
- El óxido de magnesio (MgO) debe encontrarse saturado en la escoria.
- La escoria debe tener un % de óxido de hierro (FeO) desde un rango 23% al 35% como máximo y en aceros de medio carbono y desde 35% a 40%, si es bajo cuando se inyecte carbón de inyección no va a tener suficiente oxígeno en la escoria como para realizar la formación de monóxido de carbono CO, si es alto, como el hierro es pesado en la escoria se hace muy densa. Si el óxido de hierro

atrapado en la escoria es muy alto, se está perdiendo rendimiento de acero líquido en la escoria del horno eléctrico

- La temperatura adecuada del acero líquido en la etapa de afino del horno de arco eléctrico debe estar entre 1580°C -1620 °C para lograr una adecuada espumación.

Lo ideal a tomar en cuenta durante la etapa de afino del horno de arco eléctrico, es que la escoria debe quedar adherida (pegada) a la pared de la cuchara en la metalurgia del horno cuchara o que se quede adherida a las paredes del horno de arco eléctrico (EAF). Cuanto más alto es la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en la escoria, más alto es el grado de polimerización de la escoria, esto conduce a un incremento pronunciado de su viscosidad (escoria se mantendría en estado líquido con dificultades para espumar)

### **CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DURANTE LA ELABORACIÓN DE ESCORIA ESPUMOSA EN LA ETAPA DE AFINO DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO**

Para establecer los requisitos importantes inciden directamente en la formación de la escoria espumosa tales como, saturación del MgO (óxido de magnesio), % de óxido de hierro (FeO) en la escoria, basicidad, temperatura; se realiza revisión del historial de información de las coladas o lotes realizados durante el periodo del año 2020 en la empresa de estudio del área de la fundidora, obteniendo una base de datos las cuales proporcionan la información de las coladas y de las escorias realizadas. Con el fin de unificar la información, los archivos de la base de datos se recopilan en lotes (coladas) y se elimina las coladas que no contienen la información completa o requerida para obtener información importante para el estudio.

La información se analiza de acuerdo a los parámetros que habitualmente se establecen en la institución de investigación, sin tener en cuenta o eliminando coladas con tiempos del (tap-to-tap = tiempo total entre coladas entre lotes) ascendientes a 65 min de tiempo total (entre carga de chatarra y vaciado de acero líquido), coladas realizadas con número de cargas diferente a 3 cestas o 1 cestas por motivos que estos datos no son correctos para un proceso normal de producción del área de fundición, esto puede ser ocasionado por coladas retornadas al horno eléctrico, problemas operacionales, perforación de placas eléctricas, perforación de paneles refrigerados dentro del horno eléctrico, caídas de bóveda, averías de transformador, roturas de electrodos, entre otras, Estos tiempos o mayores cargas significan mayor consumo de energía o menor tiempo de producción en el proceso de fusión en horno eléctrico. La base de datos consolidada nos otorgará la siguiente información por colada: número total de cargas de cestas de chatarra en el horno de arco eléctrico, tiempos tap-to-tap (minutos totales por colada), tiempo de encendido, tiempo de apagado, energía eléctrica por tonelada de chatarra (kWh/ton), temperatura (°C), rendimiento metálico de chatarra (%), cal cálcica y dolomítica ingresada al proceso de producción del horno eléctrico (Kg), carbón canasta, carbón de inyección, cantidad de oxígeno (Nm<sup>3</sup> como suministro de carbono (kg), chatarra total agregada a la colada (kg) y composición de la escoria entre ellas: % de óxido de hierro (%FeO), % de óxido de calcio (%CaO), % de óxido de magnesio (%MgO), % de trióxido de dialuminio (%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), % de óxido de manganeso (%MnO), % de pentóxido de fósforo (%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), % de azufre (%S), % de sílice (%SiO<sub>2</sub>) y % de dióxido de titanio (%TiO<sub>2</sub>), la información de composición química es otorgada por el área de calidad de fundición de la empresa de estudio, como se puede apreciar en la tabla 8.

En la actualidad la fundidora realiza el uso de la misma cantidad de cal cálcica y la misma cantidad de cal dolomítica para los mismos tipos de acero de SAE de medio y bajo carbono, como se puede apreciar en la tabla 9.

**Tabla 9.** Datos de fusión de colada utilizados en una colada del año 2020

<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
Número asignado	1
Cargas de cestas de chatarra en el horno de arco eléctrico	3
Temperatura de vaciado °C	1630
Energía de chatarra (Kwh/ton)	450
TTT (min)	65
Energía Eléctrica (kwh)	31000
Carbón total (kg/ton)	8,27
Oxígeno (nm3)	1800
Fosforo	0,016
Rendimiento de Chatarra	88%
Cal Cálcica	500
Cal dolomítica	500
Carbón Canasta	0
Antracita gruesa	
Total, Chatarra (kg)	65000
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-
% CaO	12
% FeO	40
% MgO	7
% MnO	6,50
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,35
% SiO <sub>2</sub>	30,01
% S	0,055
% TiO <sub>2</sub>	-

**Tabla 10.** Tabla de insumos de utilizados para la formación de escoria espumosa utilizados actualmente para SAE de medio y bajo carbono.

<b>Materia Prima</b>	<b>Cal dolomítica (kg)</b>	<b>Cal Cálcaica (kg)</b>	<b>Carbón Canasta (kg)</b>
Año 2020	500	500	600

**Fuente:** Informe mensual de cadena de valor

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

**Tabla 11.** Tipos de escoria según la basicidad binaria de las coladas en el año 2020

<b>Tipo de escoria</b>	<b>B2</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
Acidas-Fluidas	<1,51	76	49
Básica	1,51-1,71	20	13
Básica Optima	1,71-2,21	25	17
Básica-dura	>2,21	32	21
Total		153	100

**Fuente:** Informe mensual de cadena de valor

**Tabla 12.** Composición de la escoria de las coladas del mes de mayo del 2020.

<b>COLADA</b>	<b>FECHA</b>	<b>TIPO ACERO</b>	<b>CaO</b>	<b>SiO2</b>	<b>MgO</b>	<b>P2O5</b>	<b>FeO</b>	<b>Al2O3</b>	<b>MnO</b>
1	01/08/2020	1026	29.15	19	7.11	0.37	37.87	9.57	5.33
2	01/08/2020	1026	26.91	17.50	8.39	0.35	32.56	11.79	6.51
3	01/08/2020	1026	33.96	20.1	9.73	0.38	20.19	11.92	6.43
4	01/08/2020	1026	21.59	12.21	6.34	0.26	42.66	9.78	7.17
5	01/08/2020	1026	26.89	16.98	10.87	0.27	25.90	12.99	5.10
6	01/08/2020	1026	27.92	15.97	10.00	0.37	26.10	8.50	10.13
7	01/08/2020	1026	29.15	19	7.11	0.37	37.87	9.57	5.33
8	01/08/2020	1026	26.91	17.50	8.39	0.35	32.56	11.79	6.51
9	01/08/2020	1026	33.96	20.1	9.73	0.38	20.19	11.92	6.43
10	01/08/2020	1026	21.59	12.21	6.34	0.26	42.66	9.78	7.17
11	01/08/2020	1026	26.89	16.98	10.87	0.27	25.90	12.99	5.10
12	04/08/2020	1026	27.92	15.97	10.00	0.37	26.10	8.50	10.13
13	04/08/2020	1026	29.15	19	7.11	0.37	37.87	9.57	5.33



14	04/08/2020	1026	26.91	17.50	8.39	0.35	32.56	11.79	6.51
15	04/08/2020	1026	33.96	20.1	9.73	0.38	20.19	11.92	6.43
16	04/08/2020	1026	21.59	12.21	6.34	0.26	42.66	9.78	7.17
17	04/08/2020	1026	21.59	12.21	6.34	0.26	42.66	9.78	7.17
18	04/08/2020	1026	27.92	15.97	10.00	0.37	26.10	8.50	10.13
19	04/08/2020	1026	29.15	19	7.11	0.37	37.87	9.57	5.33
20	04/08/2020	1026	26.91	17.50	8.39	0.35	32.56	11.79	6.51
21	05/08/2020	1026	33.96	20.1	9.73	0.38	20.19	11.92	6.43
22	05/08/2020	1026	21.59	12.21	6.34	0.26	42.66	9.78	7.17
23	05/08/2020	1026	26.89	16.98	10.87	0.27	25.90	12.99	5.10
24	05/08/2020	1026	27.92	15.97	10.00	0.37	26.10	8.50	10.13
25	05/08/2020	1026	29.15	19	7.11	0.37	37.87	9.57	5.33
26	05/08/2020	1026	26.91	17.50	8.39	0.35	32.56	11.79	6.51
27	05/08/2020	1026	33.96	20.1	9.73	0.38	20.19	11.92	6.43
28	05/08/2020	1026	21.59	12.21	6.34	0.26	42.66	9.78	7.17
29	05/08/2020	1026	26.89	16.98	10.87	0.27	25.90	12.99	5.10
30	05/08/2020	1026	27.92	15.97	10.00	0.37	26.10	8.50	10.13
31	06/08/2020	1026	29.15	19	7.11	0.37	37.87	9.57	5.33
32	06/08/2020	1026	26.91	17.50	8.39	0.35	32.56	11.79	6.51
33	06/08/2020	1026	33.96	20.1	9.73	0.38	20.19	11.92	6.43
34	06/08/2020	1026	21.59	12.21	6.34	0.26	42.66	9.78	7.17
35	06/08/2020	1026	26.89	16.98	10.87	0.27	25.90	12.99	5.10
36	06/08/2020	1026	27.92	19.97	10.00	0.37	26.10	8.50	10.13
37	06/08/2020	1026	29.15	19	7.11	0.37	37.87	9.57	5.33
38	08/08/2020	1026	26.91	17.50	8.39	0.35	32.56	11.79	6.51
39	08/08/2020	1026	33.96	20.1	9.73	0.38	20.19	11.92	6.43
40	08/08/2020	1026	21.59	12.21	6.34	0.26	42.66	9.78	7.17
41	08/08/2020	1026	26.89	18.00	10.87	0.27	25.90	12.99	5.10
42	08/08/2020	1026	27.92	15.97	10.00	0.37	26.10	8.50	10.13

**Fuente:** Informe de químicas obtenidas por el departamento de calidad

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

**Tabla 13.** Propiedades de la escoria calculas del mes de mayo del 2020.

COLADA	DATA	TIPO ACERO	BAS EAF	Status MgO	Status Saturación	%C TAPPING
1	01/08/2020	1026	1.53	0.50	Poco Saturada	0.10
2	01/08/2020	1026	1.53	0.52	Poco Saturada	0.09
3	01/08/2020	1026	1.68	0.54	Poco Saturada	0.04
4	01/08/2020	1026	1.78	0.58	Poco Saturada	0.05
5	01/08/2020	1026	1.59	0.90	Saturación Adecuada	0.08
6	01/08/2020	1026	1.74	0.86	Saturación Adecuada	0.08
7	01/08/2020	1026	1.53	0.50	Poco Saturada	0.10
8	01/08/2020	1026	1.53	0.52	Poco Saturada	0.09
9	01/08/2020	1026	1.40	0.54	Poco Saturada	0.04
10	01/08/2020	1026	1.78	0.58	Poco Saturada	0.05

11	01/08/2020	1026	1.59	0.90	Saturación Adecuada	0.08
12	04/08/2020	1026	1.74	0.86	Saturación Adecuada	0.08
13	04/08/2020	1026	1.53	0.50	Poco Saturada	0.10
14	04/08/2020	1026	1.53	0.52	Poco Saturada	0.09
15	04/08/2020	1026	1.65	0.99	Saturación Adecuada	0.07
16	04/08/2020	1026	1.78	0.58	Poco Saturada	0.05
17	04/08/2020	1026	1.60	0.58	Poco Saturada	0.05
18	04/08/2020	1026	1.74	0.86	Saturación Adecuada	0.08
19	04/08/2020	1026	1.53	0.50	Poco Saturada	0.10
20	04/08/2020	1026	1.25	0.52	Poco Saturada	0.09
21	05/08/2020	1026	1.10	0.99	Saturación Adecuada	0.07
22	05/08/2020	1026	1.15	0.58	Poco Saturada	0.05
23	05/08/2020	1026	1.59	0.90	Saturación Adecuada	0.08
24	05/08/2020	1026	1.74	0.86	Saturación Adecuada	0.08
25	05/08/2020	1026	1.30	0.50	Poco Saturada	0.10
26	05/08/2020	1026	1.20	0.52	Poco Saturada	0.09
27	05/08/2020	1026	1.18	0.54	Poco Saturada	0.04
28	05/08/2020	1026	1.28	0.58	Poco Saturada	0.05
29	05/08/2020	1008	1.59	0.90	Saturación Adecuada	0.08
30	05/08/2020	1026	1.34	0.86	Saturación Adecuada	0.08
31	06/08/2020	1026	1.40	0.50	Poco Saturada	0.10
32	06/08/2020	1026	1.13	0.52	Poco Saturada	0.09
33	06/08/2020	1026	1.10	0.54	Poco Saturada	0.04
34	06/08/2020	1026	1.06	0.58	Poco Saturada	0.05
35	06/08/2020	1026	1.07	0.90	Saturación Adecuada	0.08
36	06/08/2020	1026	1.20	0.42	Poco Saturada	0.08
37	06/08/2020	1026	1.20	0.50	Poco Saturada	0.10
38	08/08/2020	1008	1.53	0.52	Poco Saturada	0.09
39	08/08/2020	1026	1.68	0.54	Poco Saturada	0.04
40	08/08/2020	1026	1.78	0.58	Poco Saturada	0.05
41	08/08/2020	1026	1.49	0.40	Poco Saturada	0.08
42	08/08/2020	1026	1.53	0.50	Poco Saturada	0.10

**Fuente:** Informe de químicas obtenidas por el departamento de calidad

**Figura 20.** Refractario del horno de arco eléctrico sin controlar la basicidad y saturación del MgO (óxido de magnesio)

Sin controlar la basicidad y saturación del MgO	
	
<b>Resultado:</b> Desgaste de ladrillo refractario inoportuno, paradas imprevista, incremento de costos de refractarios	
<b>Fuente:</b> Revisión en físico del estado del ladrillo refractario	
Elaborado por autor	

De acuerdo con la tabla 11, se puede evidenciar que la cantidad de coladas son básicas y ácida-fluidas, del total respectivamente y por lo tanto se tienen más escorias que no son muy fluidas se denomina como escorias cremosas las cuales no son buenas para el proceso de producción del acero en el horno de arco eléctrico y tampoco son buenas para la vida útil del refractario. Sin embargo, hay que argumentar que la formación de escorias con valores que se encuentre en un rango (rango óptimo) de estabilidad adecuado es desde 1.71 hasta 2.21 de basicidad binaria (B2), evitando escorias muy fluidas o ácidas.

## REVISIÓN DEL PROCESO DE DESOXIDACIÓN DEL ACERO DURANTE EL VACIADO DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO

Se realiza la revisión de los costos de la cadena de valor ponderado de ferroaleación y desoxidantes del utilizado por el área de acería durante el año 2020

INSUMOS	DESCRIPCIÓN	MAYO	JUNIO	JULIO
<b>01.FERROALEACIONES</b>	30058 - FERROSILICIO	\$ 0,63	\$ 0,20	\$ 0,36
	30059 - FERRO SILICO MANGANESO	\$ 9,72	\$ 8,83	\$ 8,45
	30559 - FERROBORO	\$ 0,16	\$ 0,25	\$ 0,28
	30582 - FERRO SILICO MANGANESO (BAJO CARBON)	1,33	3,42	2,24
	30548 - FERROVANADIUM			\$ 0,05
	30584 - MANGANESO ELECTROLITICO	\$ 0,45	\$ 0,80	\$ 0,59
<b>02.CARBÓN</b>	30053 - CARBON ANTRACITA INYECCION (1-3MM)	\$ 2,90	\$ 2,24	\$ 1,44
	30055 - CARBON ANTRACITA CANASTA (12-38MM)	\$ 1,92	\$ 2,31	\$ 2,04
	30057 - CARBON ANTRACITA AJUSTE 2-10MM	\$ 0,37	\$ 0,29	\$ 0,30
<b>03.ESCORIFICANTES</b>	35001 - CAL CALCICA PIEDRA X TM	\$ 1,89	\$ 2,34	\$ 1,82
	35003 - CAL DOLOMITICA	\$ 6,41	\$ 5,95	\$ 6,29
	35182 - FLUORITA METALURGICA	\$ 0,24	\$ 0,36	\$ 0,24
	36612 - CARBURO DE CALCIO	\$ 0,57	\$ 0,57	\$ 0,38
	35004 - KALISTER CL	\$ 0,09	\$ 0,03	
	35002 - CAL CALCICA PIEDRA X 25 KG			
<b>04.DESOXIDANTES</b>	20416 - CHATARRA NO FERROSA ALUMINIO LIVIANO PP	\$ 0,03	\$ 0,03	
	30060 - CARBURO DE SILICIO	\$ 0,77	\$ 0,54	\$ 0,57
	35212 - CALCIO SILICIO GRADO II	\$ 0,70	\$ 0,68	\$ 0,60
	39617 - CALCIO SILICIO ALAMBRE	\$ 0,34	\$ 0,44	\$ 0,38
	20348 - CHATARRA NO FERROSA ALUMINIO PESADO PP	\$ 0,60	\$ 0,58	\$ 0,90
	32651 - FERRO CALCIO EN ALAMBRE 13 MM		\$ 0,10	

Finalizada la etapa de fundición de chátara en el horno de arco eléctrico, se procede a realizar el vaciado de la colada de acero líquido en la cuchara.

Durante el vaciado del acero líquido del horno de arco eléctrico (EAF) son añadidos los desoxidantes y ferroaleaciones a un determinado tonelaje de llenado de cuchara con el objetivo de obtener la composición química adecuada para los diferentes tipos de SAE del proceso.

Los desoxidantes son utilizados para eliminar o disminuir la oxidación o ppm (partes por millón) de oxígeno presentes en el acero líquido.(García et al., 2019), Se detallan los siguientes:

- Carburo de calcio
- Carburo de silicio
- Aluminio
- Calcio silicio

Las ferroaleaciones consisten en una aleación del hierro con uno o varios elementos, se designan colocando como prefijo ferro al nombre del elemento aleado y a continuación el número representativa del tanto por ciento de contenido de elemento aleado o si, son varios, lo números de los tantos por cientos en el mismo orden que se han enunciado los elementos.

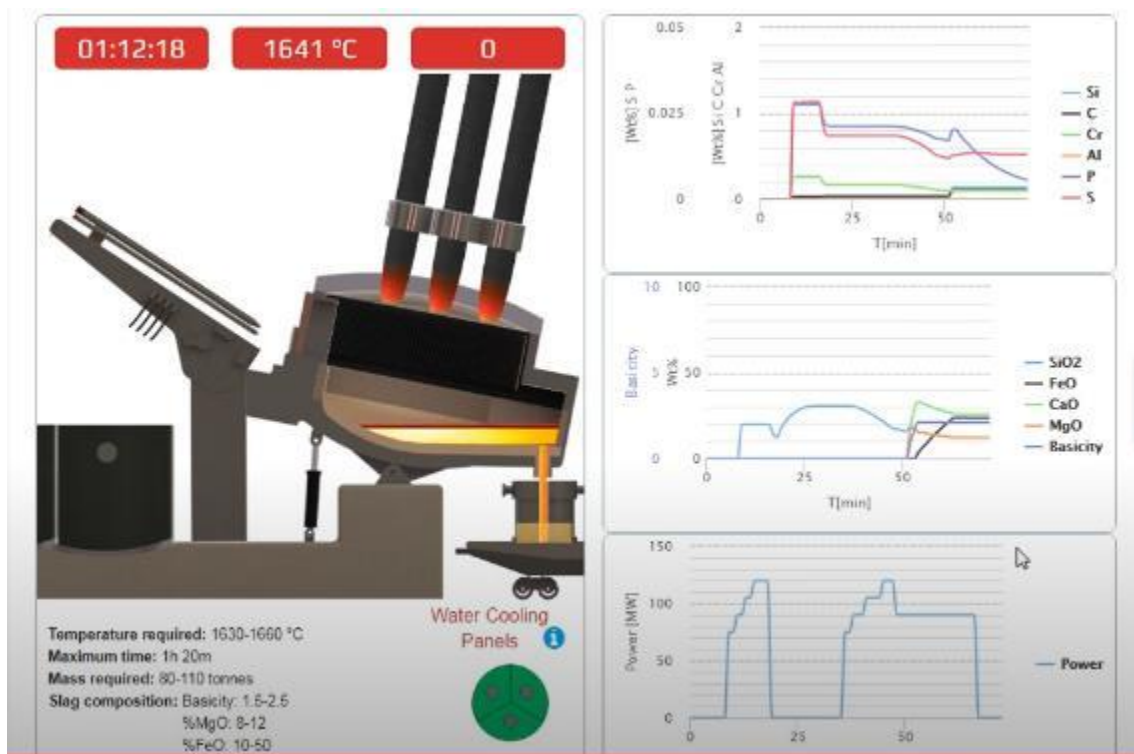
**Tabla 14.** Composición de componentes químicos en ferroaleaciones

<b>Rendimiento</b>	<b>100</b>	<b>95</b>	<b>85</b>	<b>80</b>	
<b>Ferroaleaciones y desoxidantes</b>	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>V</b>	<b>B</b>
FERROSILICIO	0,09%		76,00%	0%	
FERRO MANGANESO	1,84%	80,00%		0%	
FERROVANADIUM	0,11%		0,90%	81%	
FERRO SILICO MANGANESO (BC)	1,80%	65,00%	16,50%	0%	
FERRO SILICO MANGANESO	6,70%	65,00%	16,50%	0%	

FERROBORO	1,00%	0,50%	0%	18%
Carburo de calcio	40,00%		0%	
Carburo de silicio	45,00%	50,00%	0%	

**Fuente:** Información obtenidas por el área de calidad

El proceso de vaciado es determinado de acuerdo a una ruta o protocolo de vaciado para cada tipo de SAE. Las PPM (partículas por millón) de oxígeno del acero líquido son medidas previo al vaciado del horno eléctrico, esto nos indica el nivel de oxidación que poseen el acero líquido dentro del horno eléctrico



**Figura 21.** Ilustración de simulación de vaciado de acero líquido desde el horno eléctrico a cuchara

**Fuente:** Steel University

### Ruta de adición de materiales para aceros de medio carbono para SAE 1026

<b>Burbujeo (l/min)</b>	<b>Toneladas de Acero</b>	<b>Métodos de Adición</b>	<b>Adición</b>	<b>Cantidad en Kg</b>
150	5-8	MHS	Carbón	30 kg
130	8-10	Manual	Ferrosilicio	80
	10	MHS	FeSiMn	510
100	10-25	MHS	Cal Cálcica	200
70	47-56			
Temperatura de vaciado del EAF (°C)				1610-1620
PPM de oxígeno				200-800

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

### Ruta de adición de materiales para aceros de bajo carbono para SAE 1008

<b>Burbujeo (l/min)</b>	<b>Toneladas de Acero</b>	<b>Métodos de Adición</b>	<b>Adición</b>	<b>Cantidad en Kg</b>	<b>Adición de Aluminio PPM O</b>	<b>Al (Kg) Chatarra</b>
150	5-8	MHS	Carbón	30 kg	Menor a 600	30
130	8-10	Manual	Ferrosilicio	80	600- 700	35
	10	MHS	FeSiMn	510	700	45
100	10-25	MHS	Cal Cálcica	510		
70	47-56					
Temperatura de vaciado del EAF (°C)				1610-		

	1620
PPM de oxígeno	500-700

---

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

Actualmente el proceso de vaciado del horno de arco eléctrico mantiene el uso de ferrosilicio para todos los tipos de SAE fabricados, el cual es un costo muy elevado y es utilizado para la desoxidación del acero en la ruta de aceros de medio carbono del SAE 1026.

### **REVISIÓN DEL PROCESO DE OPERACIÓN DE CUCHARAS**

Se realiza la recopilación información en función de un estudio de tiempo de la operación de cucharas durante una condición de operación normal, es decir, si no se realiza ningún tipo de mantenimiento, entre ellos: cambio de cono interno, cambio de cono externo, reparación de bloques, cambio de tapón, como se puede apreciar en la figura 22 con un total de 18,91 minutos.



DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO					
OPERACIÓN DE CUCHARAS-CONDICION DE OPERACIÓN NORMAL					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL: X	MÉTODO PROPUESTO:			FECHA: MAYO 2022
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
CANTIDAD TOTAL	12	0	0	0	0
TIEMPO TOTAL	18,910	0	0	0	0
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACION		
Levantamiento de tapa con grua de 100 ton	● → ▽ D □	0,68			
Levantamiento de cuchara hasta el area de limpieza de cucharas	● → ▽ D □	2,04			
Vaciado de escoria en playa de cucharas	● → ▽ D □	2,09			
Limpieza de portabuzo y cono interno (Parte interna)	● → ▽ D □	1,03			
Limpieza de tapon de burbujeo (Parte interna)	● → ▽ D □	0,73			
Limpieza de portabuzo, placas y cono externo (Parte externa)	● → ▽ D □	2,11			
Limpieza del filo de la cuchara	● → ▽ D □	1,95			
Traslado de cuchara a estacion de mantenimiento	● → ▽ D □	2,76			
Lubricacion y limpieza de mecanismo	● → ▽ D □	1,09			
Traslado hacia la plataforma de colocacion de arena	● → ▽ D □	1,4			
Arenado	● → ▽ D □	1,09			
Plataforma a calentador o soporte	● → ▽ D □	1,94			

**Figura 22.** Diagrama de flujo de proceso-Operación de cucharas-Condiciones de operación normal

Se realiza la recopilación de información en función de un estudio de tiempo de la producción durante un mantenimiento en el proceso de operación de cucharas, es decir, se realiza actividades de mantenimiento, entre ellos: cambio de cono interno, cambio de cono externo, reparación de bloques, cambio de tapón, estas actividades son realizadas por el personal de producción, como se puede apreciar en la figura 23 con un total de 41,56 minutos.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO					
OPERACIÓN DE CUCHARAS-CONDICIÓN DE OPERACIÓN EN MANTENIMIENTO DURANTE EL PROCESO					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL: X	MÉTODO PROPUESTO:			FECHA: MAYO 2022
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
CANTIDAD TOTAL	15	0	0	0	0
TIEMPO TOTAL	41,560	0	0	0	0
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACION		
Levantamiento de tapa con grua de 100 ton	● → ▽ D □	0,68			
Levantamiento de cuchara hasta el area de limpieza de cucharas	● → ▽ D □	2,04			
Vaciado de escoria en playa de cucharas	● → ▽ D □	2,09			
Limpieza de portabuza y cono interno (Parte interna)	● → ▽ D □	1,03			
Limpieza de tapon de burbujeo (Parte interna)	● → ▽ D □	0,73			
Limpieza de portabuza, placas y cono externo (Parte externa)	● → ▽ D □	2,11			
Limpieza del filo de la cuchara	● → ▽ D □	1,95			
Traslado de cuchara a estacion de mantenimiento	● → ▽ D □	2,76			
Cambio de cono interno (Cada 16 coladas)	● → ▽ D □	7,15			
Cambio de cono externo (Cada 8 coladas)	● → ▽ D □	8,93			
Reparacion de bloque	● → ▽ D □	6,57			
Lubricacion y limpieza de mecanismo	● → ▽ D □	1,09			
Traslado hacia la plataforma de colocacion de arena	● → ▽ D □	1,4			
Arenado	● → ▽ D □	1,09			
Plataforma a calentador o soporte	● → ▽ D □	1,94			

**Figura 23.** Diagrama de flujo de proceso-Operación de cucharas-Condición de operación en mantenimiento durante el proceso de producción

### TEMPERATURA DE VACIADO DEL EAF (HORNO DE ARCO ELÉCTRICO)

La temperatura de vaciado del horno de arco eléctrico se encuentra establecida con el mismo rango de operación para todos los tipos de acero a producir en el área de fundición, como se puede evidenciar en la tabla 15. Se realiza la recopilación de información de coladas con baja temperatura en la llegada a la operación del horno cuchara, se puede evidenciar en la tabla 16.

**Tabla 15.** Temperatura de vaciado del EAF para aceros de bajo y medio carbono

Tipo de acero	Tipo de cuchara	Temperatura en °C
Bajo Carbono	Básica nueva	1620 a 1625
	Básica en proceso	1610-1620
Medio Carbono	Básica nueva	1620 a 1625
	Básica en proceso	1610-1620

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

**Tabla 16.** Tabla de muestreo con baja temperatura de llegada al horno cuchara para aceros de medio carbono.

Muestro de tabla sin procedimientos de vaciado de acero liquido

Colada	Tipo de acero	Temperatura de la llegada al LF con pérdidas de temperaturas por cucharas y baja temperatura de vaciado	Energía Eléctrica consumida en el LF en KWH	Tonelaje de acero	Energía eléctrica por tonelada utilizada en el horno cuchara (kwh/ton)
1	1026	1550	2000	55	36.36
2	1026	1540	2500	55	45.45
3	1026	1555	1900	55	34.54
4	1026	1560	1800	55	32.72
5	1026	1550	2200	55	40
6	1026	1550	2000	55	36.36
7	1026	1540	2500	55	45.45
8	1026	1555	1900	55	34.54
9	1026	1560	1800	55	32.72
10	1026	1550	2200	55	40

11	1026	1550	2000	55	36.36
12	1026	1540	2500	55	45.45
13	1026	1555	1900	55	34.54
14	1026	1560	1800	55	32.72
15	1026	1550	2200	55	40
16	1026	1550	2000	55	36.36
17	1026	1540	2500	55	45.45
18	1026	1555	1900	55	34.54
19	1026	1560	1800	55	32.72
20	1026	1550	2200	55	40
21	1026	1550	2000	55	36.36

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

**Tabla 17.** Tabla de muestreo con baja temperatura de llegada al horno cuchara para aceros de bajo carbono.

Muestro de tabla sin procedimientos de vaciado de acero liquido					
Colada	Tipo de acero	Temperatura de la llegada al LF con pérdidas de temperaturas por cucharas y baja temperatura de vaciado	Energía Eléctrica consumida en el LF en KWH	Tonelaje de acero	Energía eléctrica por tonelada utilizada en el horno cuchara (kwh/ton)
1	1008	1550	1800	55	32.75
2	1008	1541	1910	55	34.72
3	1008	1555	2400	55	34.54
4	1008	1541	1910	55	34.72
5	1008	1540	2430	55	44.18

6	1008	1543	2500	55	45.45
7	1008	1540	2580	55	46.90
8	1008	1555	1900	55	34.54
9	1008	1541	1910	55	34.72
10	1008	1549	2600	55	47.27
11	1008	1541	1910	55	34.72
12	1008	1530	2800	55	50.90
13	1008	1533	2600	55	47.27
14	1008	1541	2800	55	50.90
15	1008	1550	2200	55	40
16	1008	1532	2780	55	50.54
17	1008	1540	2700	55	49.09
18	1008	1541	1910	55	34.72
19	1008	1533	2600	55	47.27
20	1008	1538	2400	55	43.63
21	1008	1541	1910	55	34.72

---

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

### **Costo de cuchara con refractario de ladrillo básico**

El ladrillo refractario utilizado para el armado y la operación de cuchara es tipo básico, la duración de coladas se establece en un rango de 45 a 55 coladas por campaña, esto es debido al tipo de composición química de fabricación de ladrillo adicional este tipo de ladrillo posee un tipo pérdida de energía calorífica mayor.

**Tabla 17.** Tabla de materiales y costo de ladrillo básico

<b>CUCHARA BÁSICA</b>				
<b>Código</b>	<b>Texto breve de material</b>	<b>Necesidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
32120	RADEX-SMAC-521 25/0	210	\$21.48	\$4510.14
32121	RADEX-SMAC-521 30/0	40	\$28.51	\$1140.35
32124	RADEX-SMAC-521 6/20	630	\$13.80	\$8692.87
32125	RADEX-SMAC-521 6/30	320	\$13.53	\$4330.08
39648	GNOX-L-A3-D 6/20	350	\$14.54	\$5089.55
39649	GNOX-L-A3-D 6/30	120	\$14.23	\$1707.75
39642	SEDEKOR-95-UHS-A SG 127356	1	\$523.40	\$523.40
39647	SEDEKOR-95-FM SP 000208 436X360X360	1	\$529.42	\$529.42
				\$26523.56

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

## **2.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL**

- La falta de un sistema de mejora en el proceso productivo incide en la eficiencia de la elaboración del acero de medio y bajo carbono tomando en cuenta las categorías de materiales, medición y métodos en el proceso productivo del área de fundición.

## **2.4.2 HIPÓTESIS PARTICULAR**

- La revisión del procedimiento que genera escoria espumosa, utilizada en el control del desgaste del ladrillo refractario que recubre el horno de arco eléctrico incide en el objetivo de estandarizar los costos de materiales utilizados en el mantenimiento.
- El análisis de proceso de desoxidación de acero de medio y bajo carbono inciden en las prácticas adecuadas que permitirán disminuir los altos costos de insumos de desoxidantes en el área de fundición.
- Las adecuadas técnicas de operación en los procesos de afino del horno cuchara para los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono permitirán reducir el elevado consumo de energía eléctrica.
- Un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y procesos estudiados incide en la disminución de costos de producción

## **2.4.3 DECLARACIÓN DE VARIABLES**

### **Variables de la hipótesis general.**

Independiente: La falta de un sistema de mejora en el proceso productivo.

Dependiente: Eficiencia de la elaboración del acero de medio y bajo carbono.

### **Variables de las hipótesis particulares.**

Independiente: Procedimiento de generación de escoria espumosa.

Dependiente: Altos costos de materiales refractarios

Independiente: Análisis del proceso de desoxidación.

Dependiente: Altos costos de insumos de desoxidantes.

Independiente: Operación de cucharas en el proceso de afino.

Dependiente: Elevado consumo de energía eléctrica.

Independiente: Sistema de mejoramiento continuo.

Dependiente: Disminución de costos.

#### 2.4.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 18.** Operacionalización de variables

HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES			INDICADOR
	INDEPENDIENTES X	DEPENDIENTES Y	EMPÍRICAS	
La falta de un sistema de mejora en el proceso productivo incide en la eficiencia de la elaboración del acero de medio y bajo carbono tomando en cuenta las categorías de materiales, medición y métodos en el proceso productivo del área de fundición.	La falta de un sistema de mejora en el proceso productivo.	Eficiencia de la elaboración del acero de medio y bajo carbono.	Sistema de mejora en el proceso productivo.	# Revisiones realizadas del proceso productivo de acero.
			Eficiencia de la elaboración del acero de medio y bajo carbono.	\$ Costo de conversión de unidades de palanquillas de acero
HIPÓTESIS PARTICULARES	VARIABLES			INDICADOR
	INDEPENDIENTES X	DEPENDIENTES Y	EMPÍRICAS	
La revisión del procedimiento que genera escoria espumosa, utilizada en el control del desgaste del ladrillo refractario que recubre el horno de arco eléctrico incide en el objetivo de estandarizar los costos de materiales utilizados en el mantenimiento.	Procedimiento de generación escoria espumosa.	Altos costos de materiales refractarios.	X: Escoria Espumosa.	# de coladas con baja basicidad.
			Y: Costos de materiales refractarios.	Costo de refractario del horno de arco eléctrico
El análisis de proceso de desoxidación de acero de medio y bajo carbono inciden en las practicas adecuadas que permitirán disminuir los altos costos de insumos de desoxidantes en el área de	Análisis de proceso de desoxidación.	Altos costos de insumos de desoxidantes.	X: Proceso de desoxidación	# Procedimiento de desoxidación de acero de medio y bajo carbono. (Consumo en kg de desoxidantes)



fundición.			Y: Costos de insumos de desoxidantes.	\$ Costos de desoxidantes en SAE 1026
Las adecuadas técnicas de operación en los procesos de afino del horno cuchara para los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono permitirán reducir el elevado consumo de energía eléctrica.	Operación de cucharas en el proceso de afino	Elevado consumo de energía eléctrica.	Y: Costos de insumos de desoxidantes.	Temperatura de llegada de acuerdo al procedimiento de operación de cucharas
			Y: Consumo de energía eléctrica.	# de coladas con elevado consumo eléctrico.
Un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y procesos estudiados inciden en la disminución de costos de producción	Sistema de mejoramiento continuo	Disminución de costos	X: Mejoramiento continuo	# estudios realizados
			Y: Costos de producción.	# minutos de power off (tiempo de apagado del horno de arco eléctrico)

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 LOS MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

##### **ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN MIXTO**

El proceso de investigación mixto implica una recolección, análisis e interpretación de datos cualitativos y cuantitativos. Este método representa un proceso sistemático, empírico y crítico de la investigación, en donde la visión objetiva de la investigación cuantitativa y la visión subjetiva de la investigación cualitativa pueden fusionarse para dar respuesta a problemas humanos. Cualitativo porque se obtendrá información mediante análisis de expertos. Cuantitativo porque se conocerá las frecuencias, distribuciones y correlaciones. (Ortega Otero, 2018)

##### **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de nuestra investigación es de enfoque experimental, el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento la disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (Variable independiente) y observar su efecto en otra variable (Variable dependiente). Esto se lleva a cabo en

condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular, se justifica el diseño experimental tener mayor posibilidad de réplica, por ello mayor validez interna.(Sans & Atenea Alonso Serrano, Lorena García Sanz, Irene León Rodrigo, Elisa García Gordo, Belén Gil Álvaro, 2012)

## **NIVEL DE ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El nivel de alcance de nuestra investigación es descriptivo y correlacional, descriptivo por se conocen las características del fenómeno y lo que se busca, se expone su presencia en un determinado grupo humano. En el proceso cuantitativo se aplican análisis de datos de tendencia central y dispersión. En este alcance es posible, pero no obligatorio, plantear una hipótesis que busque caracterizar el fenómeno del estudio, correlacional por que surge la necesidad de plantear una hipótesis en la cual se proponga una relación entre 2 o más variables. En el nivel cuantitativo surge la aplicación de procesos estadísticos inferenciales que buscan extrapolar los resultados de la investigación para beneficiar a toda la población (Ramos Galarza, 2020)

### **3.1.1 MÉTODOS INDUCTIVO-DEDUCTIVO**

El método inductivo y deductivo se complementan mutuamente: mediante la inducción se establecen generalizaciones a partir de lo común en varios casos. Su estructura fundamental es la repetición de hechos y fenómenos de la realidad, localizando los rasgos comunes en un grupo definido, para llegar a conclusiones de los aspectos importantes que lo caracterizan. La utilización del método inductivo-deductivo para la investigación tiene muchas potencialidades como método de construcción de conocimientos en un primer nivel, relacionado con regularidades externas del objeto de investigación.

### 3.1.2 TEMPORALIDAD Y ORIENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación analizará los problemas de la operación de producción a lo largo del tiempo. Las variables se revisarán en diferentes momentos temporales.

### 3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación como técnica de investigación es de tipo documental y campo. Documental porque se realizará la revisión de documentos, protocolo de operación, informes y estadísticas oficiales sobre el proceso de producción. Campo por que realizara técnicas de observación y experimentación mediante la revisión de los actuales procedimientos de operación.

**La observación.** – Se observará la situación actual de producción mediante un enfoque de campo y estudio de tiempos en las distintas áreas de operación de la fundidora.

**Experimentación.** - Se analizará procedimientos de mejora para los procesos de producción de la empresa de estudio del área de fundición

EL área de fundición de la empresa de estudio posee una cantidad de 120 empleados, conformados por las áreas de proceso, producción, mantenimiento y refractarios, se aplica la fórmula de población finita al conocer el total de personas del área de fundición, obteniendo como resultado una muestra de 95 empleados.

$$n = \frac{Z^2 NPQ}{e^2(N-1) + Z^2 PQ}$$

Donde

N = tamaño de la población

z = 95 % Coeficiente de confianza

P = proporción poblacional ajustada (Q = 1-P)

e = 5 % error de estimación máximo admisible

n = tamaño de la muestra

**Tabla 19.** Datos para el cálculo de la muestra

Parámetro	Valor
N	120
Z	5
P	95 %
Q	5 %
e	5 %
<hr/>	
n	95

$$n = \frac{(5)^2 \times 120 \times 0.95 \times 0.05}{(0.05)^2 (120 - 1) + (5)^2 \times 0.95 \times 0.05}$$

$$n = \frac{142.5}{0.30 + 1.19}$$

$$n = \frac{142.5}{1.49}$$

$$n = 95$$

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS DE EXPERTOS**

De acuerdo a lo planteado por la metodología de Hernández-Nieto en su artículo científico sobre el tema de “Coeficiente de validez”, se procede a utilizar las herramientas planteadas de esa investigación en el cual se realizó un análisis de expertos en nuestro estudio, el análisis mencionado consiste en calcular el coeficiente de validez de contenido, ésta fórmula permite valorar el grado de acuerdo de los expertos, el autor de esta metodología de coeficiente recomienda la participación de entre tres o cinco expertos en el tema de investigación, respecto a cada uno de los diferentes ítems y al instrumento en general. Para ello, se utilizó los criterios a evaluar de coherencia, claridad, escala, relevancia y se aplicó la escala tipo Likert de cinco alternativas entregando la evaluación a 3 expertos del área de fundición, se calcula la media obtenida en cada uno de los ítems y, en base a este resultado obtenido, se procede a realizar el cálculo final de CVC (coeficiente de validez) para cada elemento.(Sánchez Sánchez, 2021)

### Formula de coeficiente de validez de contenido CVC

$$CVC_c = \sum \left[ \left[ \frac{\sum S_{xi}/J}{VM_j} \right] - P_{ei} \right] (1/N)$$

$$P_{ei} = \left( \frac{1}{J} \right)^J$$

Donde:

N: Número total de ítems del instrumento de recolección de datos

Sxi: Sumatoria de los puntajes asignados por cada juez J a cada uno de los Ítems i

Vmx: Valor máximo de la escala utilizada por los expertos.

Pei: Probabilidad del error por cada ítem (probabilidad de concordancia aleatoria entre expertos)

J: Número de expertos o jueces.

**Tabla 20.** Tabla de formato de evaluación de instrumentos utilizados en la investigación

<b>FORMATO DE EVALUACIÓN DE INSTRUMENTO (INDICADORES GENERALES) PARA CONOCER SU VALIDEZ</b>							
EVALUADOR							
FECHA							
COHERENCIA	El ítem mide alguna variable/categoría presente en el cuadro de congruencia metodológica						
CLARIDAD	El ítem es claro (no genera confusión o contraindicaciones)						
ESCALA	El ítem puede ser respondido de acuerdo a la escala que presenta el instrumento						
RELEVANCIA	El ítem es relevante para cumplir la preguntas y objetivos de investigación						
<b>ESCALA DE VALORES</b>							
1=Inaceptable 2=Deficiente 3=Regular 4=Bueno 5=Excelente							
CONTENIDO					EVALUACION		
ITEM	INDICADORES GENERALES	OBSERVACIONES	1	2	3	4	5
FORMATO	COHERENCIA						
	CLARIDAD						
	ESCALA						
	RELEVANCIA						

En la tabla 21, se realiza la tabulación de la información obtenida mediante el análisis de expertos y se obtiene el promedio coeficiente de índice de validez contenido de 0.83

**Tabla 21.** Tabla de cálculo de coeficiente de validez de contenido

<b>CÁLCULO DE COEFICIENTE DE VALIDEZ DE CONTENIDO</b>								
ÍTEM	EXPERTOS			SX <sub>i</sub>	VM <sub>x</sub>	CVC <sub>i</sub>	Pe <sub>i</sub>	CVC <sub>t</sub>
	1	2	3					
Número de revisiones del proceso productivo	15	15	15	45	2,25	0,75	0,037	0,713
Costo de conversión	16	17	18	51	2,55	0,85	0,037	0,813
Kg de consumo en desoxidantes	16	15	17	48	2,4	0,80	0,037	0,763
Costo de desoxidante en SAE 1026	17	18	20	55	2,75	0,92	0,037	0,880
Temperatura de acero en la cuchara	17	20	20	57	2,85	0,95	0,037	0,913
Consumo de energía eléctrica en coladas del horno cuchara	15	18	17	50	2,5	0,83	0,037	0,796
Costo de refractario del horno de arco eléctrico	20	19	19	58	2,9	0,97	0,037	0,930
Índice de basicidad del horno de arco eléctrico	18	18	16	52	2,6	0,87	0,037	0,830
Número de estudios de tiempos realizados del flujo de proceso del productivo	16	14	18	48	2,4	0,80	0,037	0,763
Minutos de power off	20	18	18	56	2,8	0,93	0,037	0,896
							<b>Promedio de índice de validez de contenido</b>	0,82962963

Interpretación de valores de coeficiente de validez.

- Menor a .60 validez y concordancia inaceptables.
- Igual o mayor a .60 y menor o igual a .70, validez y concordancia deficientes.
- Mayor que .71 y menor o igual que .80, validez y concordancia aceptables.
- Mayor que .80 y menor o igual que .90, validez y concordancia buenas.
- Mayor que .90, validez y concordancia excelentes.



El Resultado de coeficiente de validez se encuentra en 0.83, de acuerdo a la los valores de interpretación de coeficiente de validez indica concordancia buena, este valor indica la factibilidad de nuestro estudio investigativo de acuerdo a las técnicas planteadas.

#### **4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS PARA EL PROCESO DE FORMACIÓN DE ESCORIA ESPUMOSA BALANCE DE MASA PARA ACEROS DE SAE CON CONTENIDO DE MEDIO CARBONO**

Para el análisis de objetivo específico que trata sobre revisar el procedimiento que genera escoria espumosa se aplicó la metodología de análisis de saturación de escoria mediante el diagrama de petrorius y análisis de espectrometría, se aplica la manipulación de la variable independiente de basicidad, se realiza la estimación de la composición de la escoria calculando las cantidades necesarias de óxido de calcio (CaO), Dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), óxido de hierro (FeO), óxido de magnesio (MgO), y trióxido de dialuminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de las diversas fuentes. El balance de masa es utilizado para entender el comportamiento del espumado, el ataque sobre los refractarios, la capacidad de desfosforación.

Se realiza un balance de masa previo al análisis de uso de escoria para SAE 1026 de medio carbono.

**Tabla 22.** Comparativo de escorificantes en el 2020 y la propuesta para los SAE de medio carbono.

<b>Materia Prima</b>	<b>Cal dolomítica (kg)</b>	<b>Cal Cálcica (kg)</b>
Año 2020	500	500
Propuesta obtenida en función al balance de masa	1600	500

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Balance de masa a utilizar en la cantidad de cal a utilizar**

**Tabla 23.** Balance de masa

Material	CaO	MgO	SiO2	17	36	ACTUAL			PROPUESTA			Costo Actual	Costo 1	
				Actual	Propuesta 1	CaO	MgO	SiO2	CaO	MgO	SiO2			
				KG	KG									
Cálcica	97		1,5	500	500	485	0	7,5	485	0	7,5	61	61	
Dolomítica	61	29	1,2	500	1600	305	145	6	976	464	19,2	130	395,2	
SiO2			21	4000	4000			840	0	0	840			
				6500	7600	<b>790</b>	<b>145</b>	<b>853,5</b>	<b>1461</b>	<b>464</b>	<b>866,7</b>	<b>191</b>	<b>456,2</b>	
						12,2%	2,23%	13,1%	19%	6,11%	11,4%	3,24	7,73	
						B	0,56	8,50%	B	1,03	7,27%	0,09%	Actual	
						Mg O Sat	26,20		Mg O Sat	15,34		0,40%	Propuesta 1	
												Kg/Colada	\$/t	Costo
												59	3,38	6,61
												46	2,60	10,33

**Revisión del proceso actual mediante un balance de masa**

Cálculo de contenido actual de CaO:  $97\% \times 500 / 100 = 485$

Cálculo de contenido actual de CaO:  $61\% \times 500 / 100 = 305$

Suma de los dos contenidos actual de CaO: 790

Porcentaje de CaO:  $790 / 6500 = 12,2\%$

Cálculo de contenido actual de MgO:  $0\% \times 500100 = 0\%$

Cálculo de contenido actual de MgO:  $29\% \times 500100 = 145$

Suma de los dos contenidos actual de MgO: 145

Porcentaje de MgO:  $145/6500 = 2,23\%$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $1,5\% \times 500100 = 7,5$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $1,2\% \times 500100 = 6$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $21\% \times 4000100 = 840$

Suma de los dos contenidos actual de SiO<sub>2</sub>: 853,5

Porcentaje de SiO<sub>2</sub>:  $853,5/6500 = 13,1\%$

Basicidad:  $12,2/(13,1+8,50) = 0,56$

Basicidad muy baja de acuerdo a la recomendación del diagrama de petrorius, esto ocasiona que la escoria se encuentre ácida-fluida, en el área líquida.

MgO Saturación:  $= ((18,799) * (0,56^{-0,957})) - (((0,615 * (8,50/(13,1+8,50))) * (((18,799) * (0,56^{-0,957})) - 6))) = 26.20$ , el MgO se encuentra muy elevado

### **Revisión del proceso actual mediante un balance de masa propuesto**

Cantidad de escoria prevista:  $6500+500+1600-500-500=7600$  kg

Cálculo de contenido actual de CaO:  $97\% \times 500100 = 485$

Cálculo de contenido actual de CaO:  $61\% \times 1600100 = 976$

Suma de los dos contenidos actual de CaO: 1461

Porcentaje de CaO:  $1461/7600 = 19\%$

Cálculo de contenido actual de MgO:  $0\% \times 500100 = 0\%$

Cálculo de contenido actual de MgO:  $29 \times 1600100 = 464$

Suma de los dos contenidos actual de MgO: 464

Porcentaje de MgO:  $464/7600=6,11\%$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $1,5\% \times 500100=7,5$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $1,2\% \times 1600100=19,2$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $21 \times 4000100=840$

Suma de los dos contenidos actual de SiO<sub>2</sub>: 866,7

Porcentaje de SiO<sub>2</sub>:  $866,7/7600=13,1\%$

Basicidad:  $19/(11,4+7,27) = 1,03$

Basicidad baja de acuerdo a la recomendación del diagrama de petrorius, se puede subir la cal cálcica para mejor la escoria o reducir el contenido de SiO<sub>2</sub> o tierra en la chatarra, si se reduce en 2000 kg o se incrementa a 1000 kg de cal cálcica se mejora el cálculo de basicidad.

MgO Saturación:  $= ((18,799)^*(0,56^{-0,957})) - (((0,615*(8,50/(13,1+8,50))) * (((18,799)^*(0,56^{-0,957})) - 6))) = 15.34$ , el MgO se encuentra muy elevado

Se realiza revisión durante la producción de 25 coladas en intervalos durante el mes de abril y mayo obteniendo los siguientes resultados:

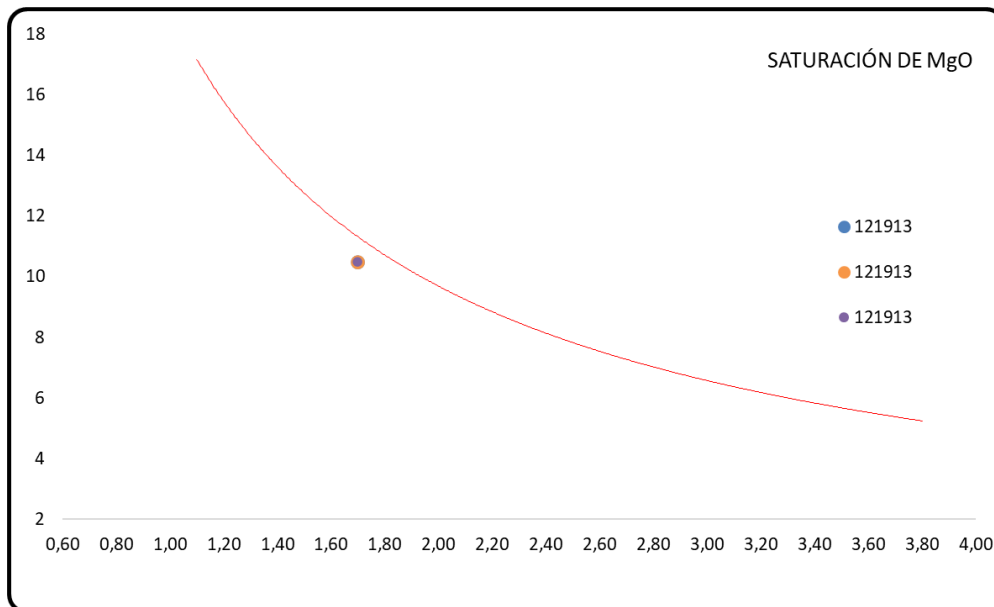
**Tabla 24.** Propiedades de la escoria calculadas de las coladas de prueba para SAE de medio carbono.

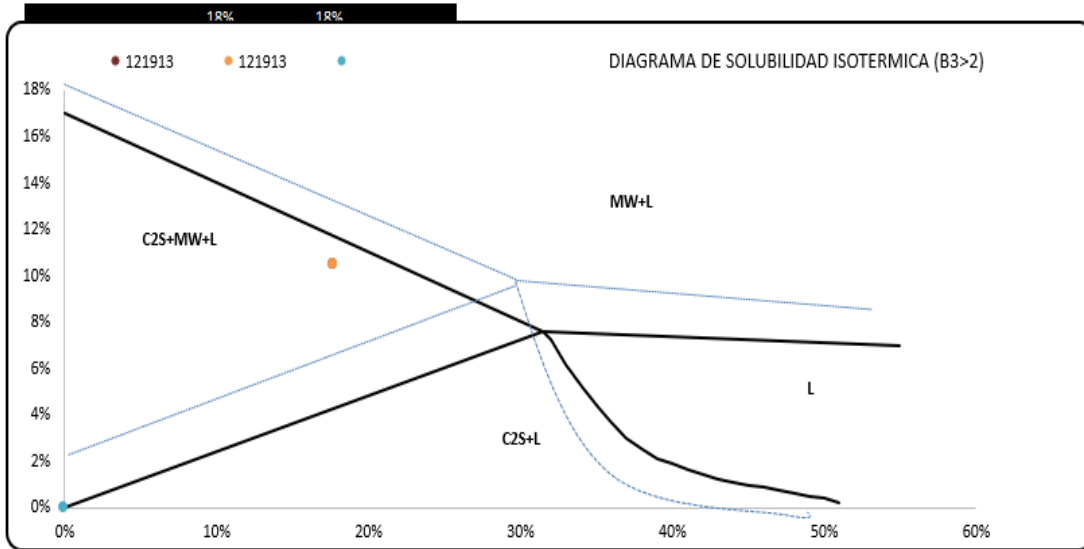
	DATA	MÉTOD O	TIPO ACERO	CaO	SiO2	MgO	P2O 5	FeO	Al2O 3	Mn O	BAS EAF	BAS_ 2	BAS_ 4	MgO Sat.	Status MgO	Status Saturación	%C TAPPING	FeO TEH	Status FeO	Status FeO 2
12177 2	12/04/202 2	EAF	1026	27,0 5	12,6 2	7,83	0,29	24,5 3	9,82	5,2 5	2,15	2,14	2,70	9,03	0,87	Saturación Adecuada	0,03	30,51	-5,98	Buen FeO
12177 4	12/04/202 2	EAF	1026	29,0 1	12,9 0	8,01	0,32	21,9 0	10,9 0	4,9 0	2,26	2,25	2,80	8,63	0,93	Saturación Adecuada	0,03	30,51	-8,61	Buen FeO
12179 2	13/04/202 2	EAF	1026	23,6 7	13,1 9	7,80	0,22	26,7 4	10,9 1	5,5 9	1,80	1,79	1,79	10,70	0,53	Poco Saturada	0,05	23,41	3,33	Alto FeO
12179 4	13/04/202 2	EAF	1026	20,2 9	14,3 1	5,63	0,15	39,5 0	10,9 5	5,3 5	1,42	1,42	2,35	13,41	0,58	Poco Saturada	0,05	23,41	16,09	Alto FeO
12183 2	18/04/202 2	EAF	1026	23,0 5	24,4 5	9,60	0,20	20,3 4	16,0 3	8,7 1	0,95	0,94	1,32	19,78	0,49	Poco Saturada	0,08	19,42	0,92	OK
12183 4	18/04/202 2	EAF	1026	25,8 1	14,7 5	11,2 9	0,28	37,6 1	12,9 6	4,5 9	1,76	1,75	2,47	10,94	1,03	Muy Saturada	0,03	30,51	7,10	Alto FeO
12183 6	18/04/202 2	EAF	1026	27,3 9	19,4 3	13,3 5	0,29	25,7 1	15,2 4	4,7 4	1,42	1,41	2,07	13,45	0,99	Saturación Adecuada	0,07	20,37	5,34	Alto FeO
12185 6	19/04/202 2	EAF	1026	32,5 9	22,2 6	10,6 2	0,35	12,8 9	15,5 2	6,4 7	1,47	1,46	1,91	13,00	0,82	Saturación Adecuada	0,16	16,10	-3,21	Buen FeO
12185 8	19/04/202 2	EAF	1026	25,1 8	25,1 8	12,0 4	0,23	11,3 8	21,2 2	7,3 8	1,01	1,00	1,46	18,68	0,64	Poco Saturada	0,09	18,68	-7,30	Buen FeO
12186 0	19/04/202 2	EAF	1026	35,0 0	18,9 2	9,49	0,38	13,8 8	16,8 1	4,7 0	1,86	1,85	2,31	10,40	0,91	Saturación Adecuada	0,14	16,57	-2,69	Buen FeO
12188 1	20/04/202 2	EAF	1026	33,1 4	23,7 4	17,1 6	0,34	9,64	17,3 2	5,2 4	1,41	1,40	2,09	13,57	1,26	Muy Saturada	0,09	18,68	-9,04	Buen FeO
12188 3	20/04/202 2	EAF	1026	32,9 7	23,6 1	16,3 8	0,33	10,4 8	16,7 7	5,1 4	1,41	1,40	2,06	13,57	1,21	Muy Saturada	0,07	20,37	-9,89	Buen FeO
12188 5	20/04/202 2	EAF	1026	36,6 2	20,3 7	12,3 1	0,42	17,3 4	14,2 1	5,0 5	1,81	1,80	2,35	10,68	1,15	Muy Saturada	0,08	19,42	-2,08	Buen FeO
12191 1	21/04/202 2	EAF	1026	31,6 1	19,6 4	9,55	0,35	17,4 3	14,5 1	6,6 7	1,62	1,61	2,06	11,88	0,80	Saturación Adecuada	0,08	19,42	-1,99	Buen FeO
12191 3	21/04/202 2	EAF	1026	30,5 3	18,0 5	10,5 0	0,32	17,7 2	13,6 0	6,7 1	1,70	1,69	2,23	11,32	0,93	Saturación Adecuada	0,06	21,64	-3,92	Buen FeO
12202 3	27/04/202 2	EAF	1026	28,3 3	16,5 3	9,37	0,31	28,3 2	14,7 5	5,6 8	1,72	1,71	2,24	11,18	0,84	Saturación Adecuada	0,11	17,61	10,71	Alto FeO

12204 9	28/04/202 2	EAF	1026	29,1 9	16,2 3	8,55	0,35	37,3 1	12,6 3	4,4 7	1,81	1,80	2,28	10,68	0,80	Saturación Adecuada	0,03	30,51	6,80	Alto FeO
12205 1	28/04/202 2	EAF	1026	26,1 2	14,9 4	8,37	0,30	37,2 0	12,6 8	4,9 4	1,76	1,75	2,26	10,97	0,76	Poco Saturada	0,03	30,51	6,69	Alto FeO
12205 3	28/04/202 2	EAF	1026	30,0 5	13,5 9	7,66	0,34	36,0 3	11,1 4	4,4 0	2,22	2,21	2,71	8,77	0,87	Saturación Adecuada	0,04	26,07	9,96	Alto FeO
12229 2	11/05/202 2	EAF	1026	30,7 3	14,7 3	11,7 9	0,34	20,9 1	13,0 5	5,2 6	2,10	2,09	2,82	9,25	1,27	Muy Saturada	0,05	23,41	-2,50	Buen FeO
12229 5	11/05/202 2	EAF	1026	26,9 3	16,5 7	9,29	0,27	20,4 8	14,2 6	6,4 8	1,63	1,63	2,15	11,76	0,79	Poco Saturada	0,03	30,51	-10,03	Buen FeO
12231 7	12/05/202 2	EAF	1026	27,8 9	17,1 6	8,55	0,32	31,1 5	13,6 7	5,8 3	1,63	1,63	2,08	11,76	0,73	Poco Saturada	0,07	20,37	10,78	Alto FeO
12231 9	12/05/202 2	EAF	1026	24,3 0	14,9 4	9,98	0,26	36,3 0	12,2 2	4,8 5	1,64	1,63	2,26	11,74	0,85	Saturación Adecuada	0,04	26,07	10,23	Alto FeO
12233 9	13/05/202 2	EAF	1026	26,1 3	19,0 5	8,22	0,28	28,5 2	12,3 8	7,4 8	1,38	1,37	1,78	13,84	0,59	Poco Saturada	0,03	30,51	-1,99	Buen FeO
12234 1	13/05/202 2	EAF	1026	24,6 3	14,8 5	8,94	0,28	34,8 4	12,2 8	4,9 5	1,67	1,66	2,22	11,53	0,78	Poco Saturada	0,05	23,41	11,43	Alto FeO

Se evidencia que se tiene coladas con una saturación adecuada, se toma como referencia la colada 121913 la cual posee una saturación adecuada.

COLADA	<b>121913</b>
SAE	1026V
FECHA	21/04/2022
BAS	1,70
MgO	10,50
CaO	30,53
SiO <sub>2</sub>	18,05
FeO	17,72
ESTADO	Saturación Adecuada

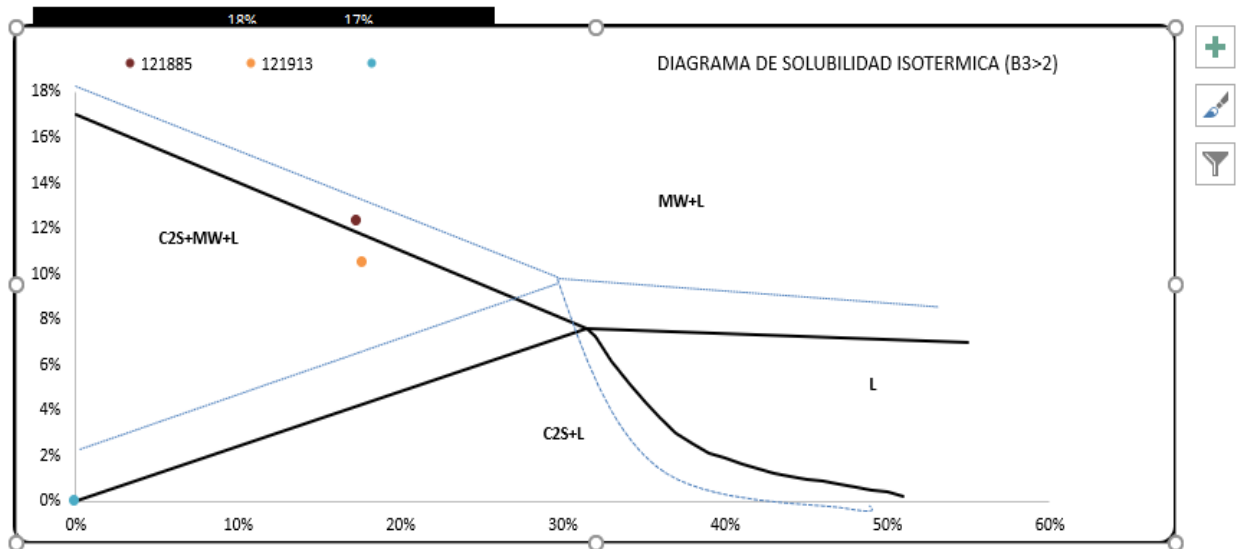
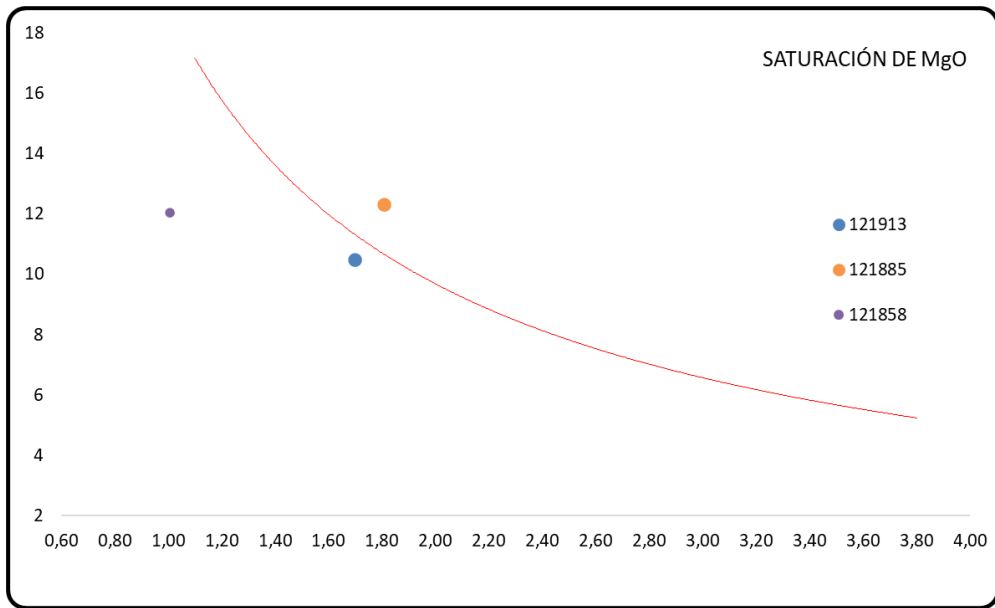




Se evidencia que se tiene coladas con una saturación adecuada, se toma como referencia la colada 121913 la cual posee una saturación adecuada.

COLADA	121913	121885	121858
SAE	1026V	1026V	1026V
FECHA	21/04/2022	20/04/2022	19/04/2022
BAS	1,70	1,81	1,01
MgO	10,50	12,31	12,04
CaO	30,53	36,62	25,18
SiO <sub>2</sub>	18,05	20,37	25,18
FeO	17,72	17,34	11,38
ESTADO	Saturación Adecuada	Muy Saturada	Poco Saturada





Se realiza un balance de masa previo al análisis de uso de escoria para SAE de bajo carbono (SAE 1005-1008)

**Tabla 25.** Comparativo de escorificantes en el 2020 y la propuesta para los SAE de bajo carbono.

<b>Materia Prima</b>	<b>Cal dolomítica</b>	<b>Cal</b>	<b>Cálcica</b>
	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	
Año 2020	500	500	
Propuesta	2400	500	

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Tabla 26.** Balance de masa

Material	CaO	MgO	SiO2	Actual	Propuesta 1	CaO	MgO	SiO2	CaO	MgO	SiO2	Costo Actual	Costo 1			
Cálcica	97		1,5	500	500	485	0	7,5	485	0	7,5	61	61			
Dolomítica	61	29	1,2	500	2400	305	145	6	1464	696	28,8	130	592,8			
SiO2			21	3500	3500			735	0	0	735					
				4900	6800	<b>790</b>	<b>145</b>	<b>748,5</b>	<b>1949</b>	<b>696</b>	<b>771,3</b>	<b>191</b>	<b>653,8</b>			
						16,1%	2,96%	15,3%	29%	10,24%	11,3%	3,24	11,08			
						<b>B</b>	1,06	8,50%	<b>B</b>	1,64	6,13%	0,19%	<b>Actual</b>			
						<b>Mg O Sat</b>	15,25		<b>Mg O Sat</b>	10,47		0,98%	<b>Propuesta 1</b>			
													Kg/Colada	\$/t	Costo	
														39	2,24	5,48
														2	0,09	11,17

### Revisión del proceso actual mediante un balance de masa

Cálculo de contenido actual de CaO:  $97\% \times 500100 = 485$

Cálculo de contenido actual de CaO:  $61\% \times 500100 = 305$

Suma de los dos contenidos actual de CaO: 790

Porcentaje de CaO:  $790/4900 = 16,1\%$

Cálculo de contenido actual de MgO:  $0\% \times 500100 = 0 \%$

Cálculo de contenido actual de MgO:  $29\% \times 500100 = 145$

Suma de los dos contenidos actual de MgO: 145

Porcentaje de MgO:  $145/4900 = 2,96\%$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $1,5\% \times 500100 = 7,5$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $1,2\% \times 500100 = 6$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $21\% \times 3500100 = 840$

Suma de los dos contenidos actual de SiO<sub>2</sub>: 748,5

Porcentaje de SiO<sub>2</sub>:  $748,5/4900 = 15,3\%$

Basicidad:  $12,2 / (13,1 + 8,50) = 1,06$

Basicidad se encuentra baja de acuerdo a la recomendación del diagrama de petrorius, esto ocasiona que la escoria se encuentre ácida-fluida, en el área líquida.

MgO Saturación:  $= ((18,799) * (1,06^{-0,957})) -$

$((0,615 * (8,50 / (15,3 + 8,50))) * (((18,799) * (1,06^{-0,957})) - 6))) = 15.25$

### Revisión del proceso actual mediante un balance de masa

Cantidad de escoria prevista:  $4900 + 500 + 2400 - 500 - 500 = 6800$  kg

Cálculo de contenido actual de CaO:  $97\% \times 500100 = 485$

Cálculo de contenido actual de CaO:  $61\% \times 2400100 = 1461$

Suma de los dos contenidos actual de CaO: 1461

Porcentaje de CaO:  $1461/7600 = 19\%$

Cálculo de contenido actual de MgO:  $0\% \times 500100 = 0 \%$

Cálculo de contenido actual de MgO:  $29 \times 2400100 = 696$

Suma de los dos contenidos actual de MgO: 696

Porcentaje de MgO:  $696/6800 = 10,24\%$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $1,5\% \times 500100 = 7,5$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $1,2\% \times 2400100 = 28,8$

Cálculo de contenido actual de SiO<sub>2</sub>:  $21 \times 3500100 = 735$

Suma de los dos contenidos actual de SiO<sub>2</sub>: 771,3

Porcentaje de SiO<sub>2</sub>:  $771,3/6800 = 11,3\%$

Basicidad:  $29/(11,3+6,13) = 1,64$

Basicidad conforme de acuerdo a la recomendación del diagrama de petrorius

MgO Saturación:  $= ((18,799) \times (1,64^{-0,957})) -$

$((0,615 \times (6,13/(11,3+6,13))) \times (((18,799) \times (1,64^{-0,957})) - 6))) = 10.47$ , el MgO se

encuentra dentro del rango permisible

Se realiza revisión durante la producción de 25 coladas en intervalos durante el mes de marzo a junio y se obtienen los resultados

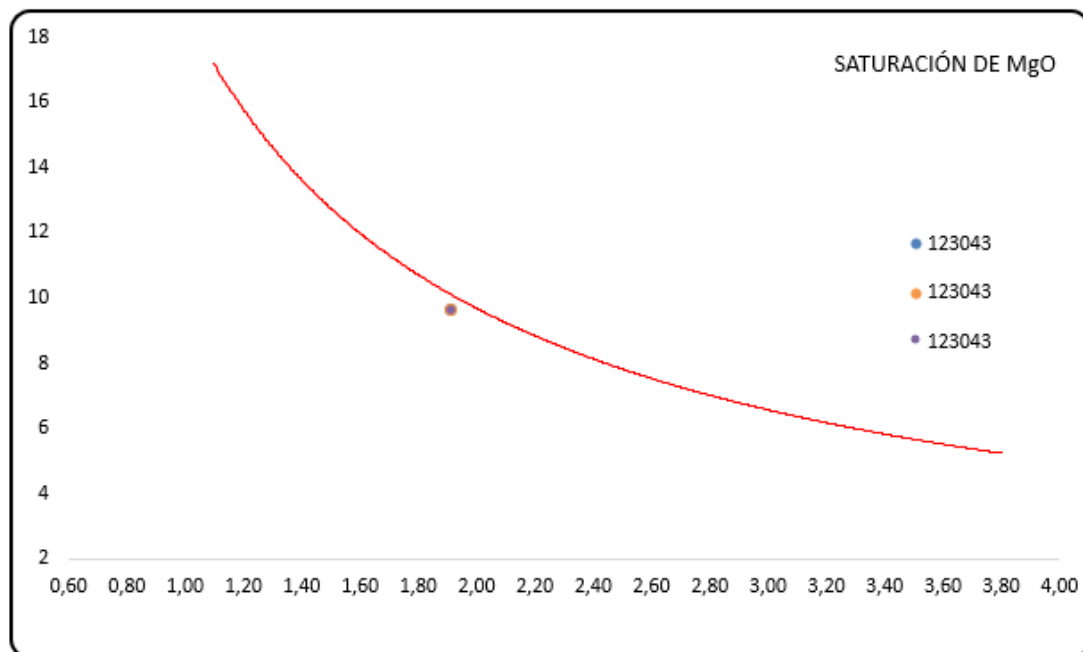
**Tabla 27.** Propiedades de la escoria calculadas de las coladas de prueba para SAE de bajo carbono.

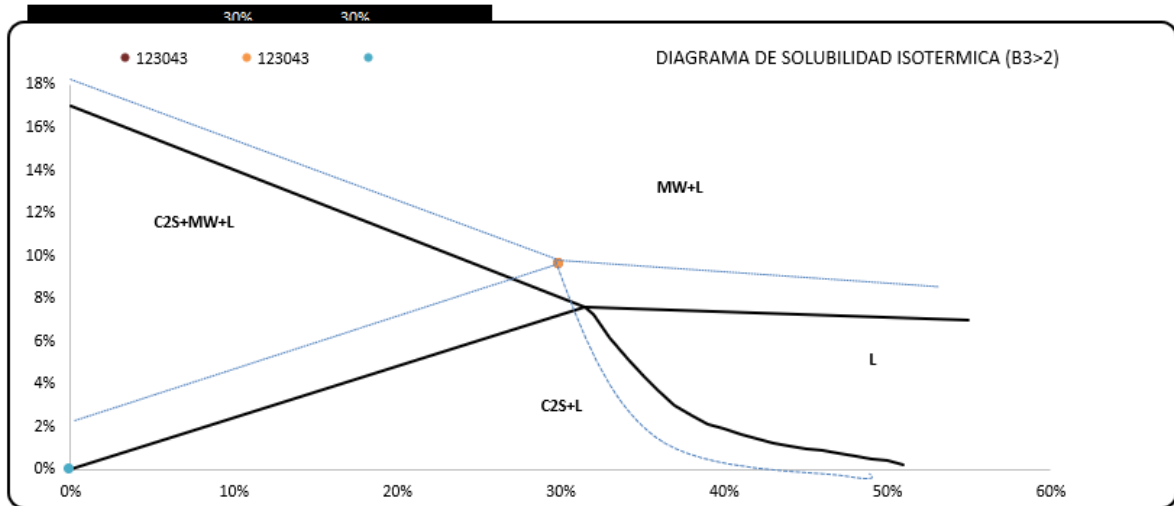
	DATA	MÉTODO	TIPO ACERO	CaO	SiO2	MgO	P2O5	FeO	Al2O3	MnO	BAS EAF	BAS_2	BAS_4	MgO Sat.	Status MgO	Status Saturación	%C TAPPING	FeO TEH	Status FeO	Status FeO 2
120411	28/03/2022	EAF	1006	26,86	6,54	3,25	0,32	55,49	3,25	4,29	4,11	4,11	4,39	4,86	0,67	Poco Saturada	0,03	30,51	24,99	Alto FeO
120413	28/03/2022	EAF	1006	27,71	7,84	3,61	0,42	51,48	3,54	5,40	3,54	3,53	3,79	5,61	0,64	Poco Saturada	0,03	30,51	20,97	Alto FeO
121628	04/04/2022	EAF	1006	23,45	15,90	7,39	0,30	29,18	8,99	6,69	1,48	1,47	1,90	12,91	0,57	Poco Saturada	0,02	39,38	-10,20	Buen FeO
121647	05/04/2022	EAF	1008	29,11	11,87	6,75	0,39	35,55	7,55	4,65	2,46	2,45	2,92	7,94	0,85	Saturación Adecuada	0,04	26,07	9,48	Alto FeO
121649	05/04/2022	EAF	1008	26,66	14,72	3,85	0,29	39,27	8,35	4,78	1,81	1,81	2,03	10,63	0,36	Poco Saturada	0,04	26,07	13,20	Alto FeO
121670	06/04/2022	EAF	1008	28,05	13,66	6,74	0,36	30,68	8,31	4,44	2,06	2,05	2,48	9,41	0,72	Poco Saturada	0,04	26,07	4,61	Alto FeO
121672	06/04/2022	EAF	1008	31,14	13,05	5,75	0,41	25,40	9,38	5,48	2,39	2,39	2,74	8,16	0,70	Poco Saturada	0,04	26,07	-0,67	Buen FeO
122151	04/05/2022	EAF	1008	33,56	21,25	12,78	0,49	19,88	12,27	6,11	1,59	1,58	2,13	12,08	1,06	Muy Saturada	0,03	30,51	-10,63	Buen FeO
122273	10/05/2022	EAF	1008	13,89	11,78	4,59	0,06	58,55	9,55	2,89	1,18	1,18	1,56	15,99	0,29	Poco Saturada	0,02	39,38	19,18	Alto FeO
122914	08/06/2022	EAF	1005	25,89	13,67	10,66	0,29	37,59	8,21	5,35	1,90	1,89	2,62	10,15	1,05	Muy Saturada	0,03	30,51	7,08	Alto FeO
122916	08/06/2022	EAF	1005	21,60	14,17	10,59	0,22	44,62	8,42	5,56	1,53	1,52	2,24	12,48	0,85	Saturación Adecuada	0,03	30,51	14,11	Alto FeO
122918	08/06/2022	EAF	1005	25,21	15,98	7,56	0,26	41,88	8,70	5,69	1,58	1,58	2,02	12,11	0,62	Poco Saturada	0,03	30,51	11,37	Alto FeO
122934	09/06/2022	EAF	1005	25,60	13,46	8,29	0,28	35,65	8,47	5,20	1,91	1,90	2,47	10,12	0,82	Saturación Adecuada	0,03	30,51	5,14	Alto FeO
122988	14/06/2022	EAF	1010	17,91	21,39	18,62	0,14	28,30	10,75	6,82	0,85	0,84	1,70	21,98	0,85	Saturación Adecuada	0,05	23,41	4,89	Alto FeO
122990	14/06/2022	EAF	1010	22,81	15,33	14,90	0,28	37,86	8,84	4,95	1,50	1,49	2,42	12,74	1,17	Muy Saturada	0,03	30,51	7,35	Alto FeO
122992	14/06/2022	EAF	1010	25,94	15,16	10,41	0,27	35,06	9,54	5,43	1,72	1,71	2,36	11,18	0,93	Saturación Adecuada	0,03	30,51	4,55	Alto FeO
123016	15/06/2022	EAF	1008	22,62	15,79	11,50	0,22	39,98	10,26	5,16	1,44	1,43	2,13	13,24	0,87	Saturación Adecuada	0,03	30,51	9,47	Alto FeO
123018	15/06/2022	EAF	1008	32,62	24,17	9,48	0,39	24,52	8,65	4,35	1,35	1,35	1,71	14,06	0,67	Poco Saturada	0,04	26,07	-1,55	Buen FeO

<b>12303 7</b>	16/06/20 22	EAF	1008	31,9 7	15,3 7	16,7 4	0,4 4	23,0 3	9,01	3,7 9	2,09	2,08	3,08	9,26	1,81	Muy Saturada	0,04	26,07	-3,04	Buen FeO
<b>12304 1</b>	16/06/20 22	EAF	1008	37,1 7	13,3 3	11,9 7	0,4 6	21,7 5	9,65	3,7 9	2,80	2,79	3,56	7,02	1,71	Muy Saturada	0,04	26,07	-4,32	Buen FeO
<b>12304 3</b>	16/06/20 22	EAF	1008	28,5 5	14,9 7	9,58	0,3 4	29,8 8	11,6 6	5,4 0	1,92	1,91	2,49	10,09	0,95	Saturación Adecuada	0,04	26,07	3,81	Alto FeO
<b>12318 3</b>	27/06/20 22	EAF	1008	28,2 3	15,7 3	4,97	0,3 3	39,7 5	10,7 8	5,5 2	1,80	1,79	2,07	10,72	0,46	Poco Saturada	0,03	30,51	9,24	Alto FeO
<b>12322 4</b>	29/06/20 22	EAF	1008	32,1 2	13,1 1	8,40	0,4 3	36,1 1	8,20	4,2 8	2,46	2,45	2,99	7,95	1,06	Muy Saturada	0,03	30,51	5,60	Alto FeO
<b>12322 6</b>	29/06/20 22	EAF	1008	27,2 4	12,7 3	9,27	0,3 2	43,2 0	7,97	4,3 9	2,15	2,14	2,80	9,04	1,03	Muy Saturada	0,03	30,51	12,69	Alto FeO
<b>12322 8</b>	29/06/20 22	EAF	1008	24,4 3	11,8 6	8,47	0,2 7	49,7 9	8,12	3,7 5	2,07	2,06	2,71	9,37	0,90	Saturación Adecuada	0,03	30,51	19,28	Alto FeO

Se evidencia que se tiene coladas con una saturación adecuada, se toma como referencia la colada 123043 la cual posee una saturación adecuada.

COLADA	<b>123043</b>
SAE	1008
FECHA	16/06/2022
BAS	1,92
MgO	9,58
CaO	28,55
SiO <sub>2</sub>	14,97
FeO	29,88
ESTADO	Saturación Adecuada



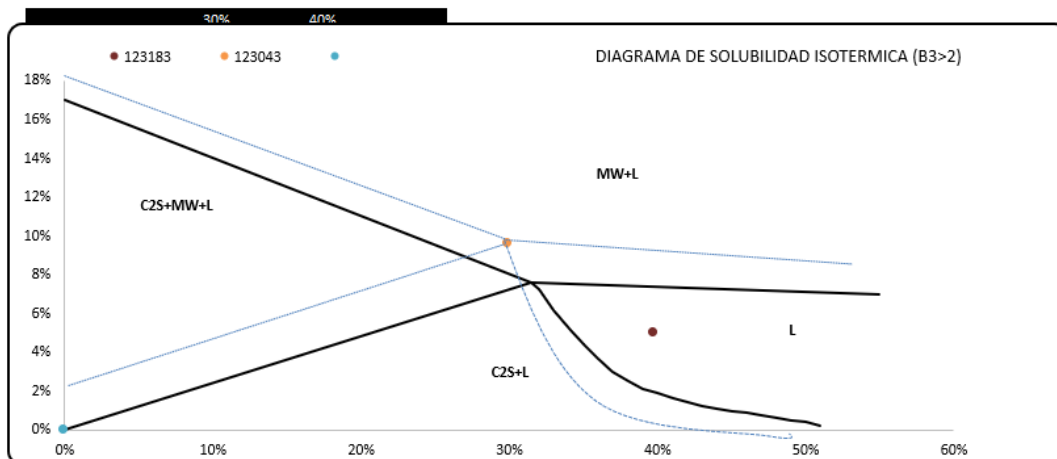
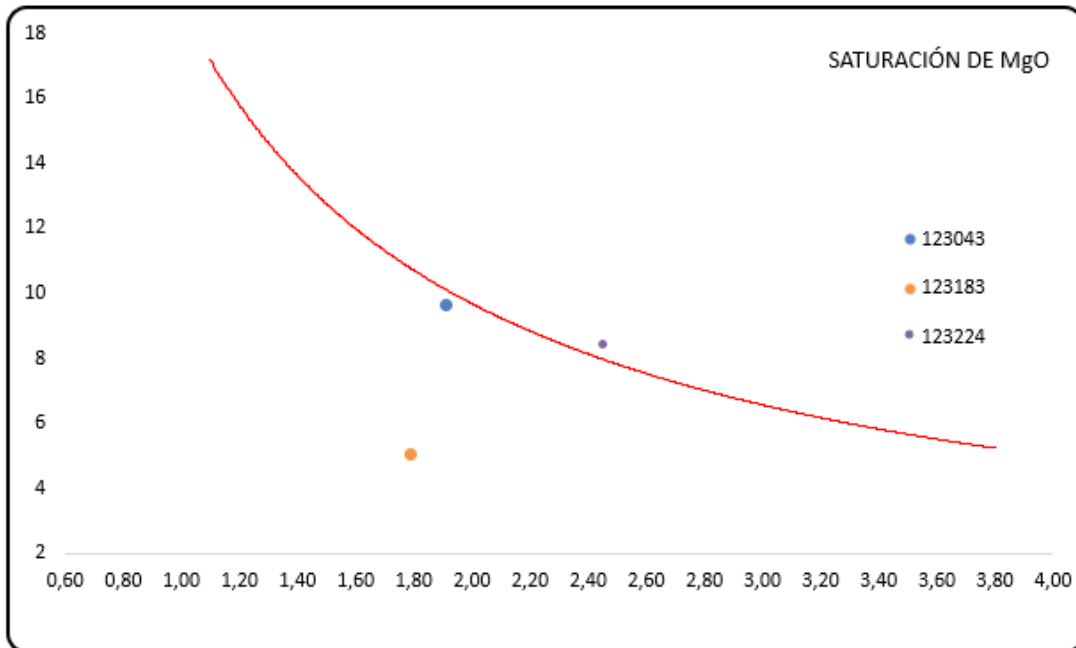


Se evidencia que se tiene coladas con una saturación adecuada, se toma como referencia la colada 123043 la cual posee una saturación adecuada.

**Tabla 28.** Característica de contenido de FeO, MgO y CaO en la escoria de las coladas para SAE bajo carbono.

COLADA	123043	123183	123224
SAE	1008	1008	1008
FECHA	16/06/2022	27/06/2022	29/06/2022
BAS	1,92	1,80	2,46
MgO	9,58	4,97	8,40
CaO	28,55	28,23	32,12
SiO <sub>2</sub>	14,97	15,73	13,11
FeO	29,88	39,75	36,11
ESTADO	Saturación Adecuada	Poco Saturada	Muy Saturada





**Tabla 29.** Tabla de refractario en el EAF formado buena escoria espumosa y controlando la basicidad del EAF y la saturación del MgO

Controlando la basicidad y saturación del MgO

Resultado: Ladrillo protegido dentro del EAF, producción continua sin tiempos para reparar el EAF, se puede apreciar que la obtención de la saturación de la escoria en el horno de arco eléctrico, esto se logra mediante un correcto análisis de balance de masa obtener la basicidad adecuada.

**Fuente:** Revisión refractario en proceso productivo

## 4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS PARA EL PROCESO DE DESOXIDACIÓN DEL ACERO

### Ruta de adición de materiales para aceros de medio carbono para SAE 1026

Burbujeo (l/min)	Toneladas de Acero	Métodos de Adición	Adición	Cantidad en Kg
150	5-8	MHS	Carbón	30
130	8-10	Manual	Ferrosilicio	88
	10	MHS	FeSiMn	447
100	10-25	MHS	Cal Cálcica	200
70	47-56			
Temperatura de vaciado del EAF (°C)				1610-1620
PPM de oxígeno				200-800

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

Para la obtención del objetivo de analizar el proceso de desoxidación de acero de medio y bajo carbono del horno cuchara, mediante la metodología de Ellingham, que permitan identificar las prácticas adecuadas de operación, se aplicó la manipulación de la variable independiente de sobre el procedimiento de desoxidación de acero de medio y bajo carbono. (Consumo en kg de desoxidantes). En la actualidad el proceso de vaciado del horno de arco eléctrico (EAF), mantiene el uso de ferrosilicio para todos los tipos de SAE fabricados en la empresa de estudio, este ítem posee un costo elevado para el área de producción y es utilizado para la desoxidación del acero en la ruta de proceso de producción de acero de medio carbono del SAE 1026

**Tabla 30.** Tabla de componentes y rendimiento, de las ferroaleaciones y desoxidantes.

Rendimiento	100	95	85	80	
Ferroaleaciones y desoxidantes	C	Mn	Si	V	B
FERROSILICIO	0,09%		76,00%	0%	
FERRO MANGANESO	1,84%	80,00%		0%	
FERROVANADIUM	0,11%		0,90%	81%	
FERRO SILICO MANGANESO (BC)	1,80%	65,00%	16,50%	0%	
FERRO SILICO MANGANESO	6,70%	65,00%	16,50%	0%	
FERROBORO	1,00%		0,50%	0%	18%
Carburo de calcio	40,00%			0%	
Carburo de silicio	45,00%		50,00%	0%	

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

ESPECIFICACIÓN			
%	min	Obj.	max
<b>C</b>	0,265	<b>0,27</b>	0,290
<b>Mn</b>	0,75	<b>0,78</b>	0,830
<b>P</b>			0,035
<b>S</b>		<b>0,020</b>	0,030
<b>Si</b>	0,14	<b>0,16</b>	0,180
<b>Cu</b>			0,500
<b>Ni</b>			0,200
<b>Cr</b>			0,250
<b>Sn</b>			0,060
<b>Mo</b>			0,030
<b>W</b>			0,060
<b>N (PPM)</b>			120
<b>Mn/Si</b>		<b>4,9</b>	
<b>Mn/S</b>		<b>39</b>	
<b>TEMP LIQUIDUS</b>	1502		

TON ACERO	Método de Adición	Adiciones	CUCHARA GRANDE	Unidad de medida
5--8	Manual	Carbón	30	KG
8-10		FeSi	88	
10	MHS	FeSiMn	447	KG
11-25	MHS	Cal Cálcica	200	KG

**Actualidad de cálculo de adiciones para SAE 1026 de acuerdo a la ruta especificada en la actualidad para el uso del Ferrosilicio (FeSi)**

Para el objetivo de este cálculo se utiliza la metodología Ellingham y la tabla 30 que indica los componentes y rendimiento, de ferroaleaciones y desoxidantes.

Cantidad de adición por kg de FeSi = *Tonelada de acero (Objetivo final–objetivo inicial) Rendimiento metálico\*rendimiento de ferroaleación*

$$\text{Kg FeSi} = 5700000 (0.11-0.01)76x85$$

Kg FeSi=88 kg de ferrosilicio

Cálculo de llegada del Si con el uso de ferrosilicomanganeso

Cantidad para adicionar por kg de FeSiMn=*Tonelada de acero (Objetivo final–objetivo inicial) Rendimiento metalico\*rendimiento de ferroaleación*

$$\text{Kg FeSiMn} = 5700000 (0.12-0.01)16.5x85$$

Kg FeSiMn=447 kg de ferrosilicomanganeso

Cálculo de llegada de Mn con el uso de ferrosilicomanganeso

Objetivo final de manganeso =  $X_f$

$X_f = \text{Kg Ferroaleacion} * \text{rendimiento metalico} * \text{rendimiento de ferroaleacion} \text{Tonelaje de acero}$

$$\text{Kg FeSiMn} = 447 * 65 * 955700000$$

Kg FeSiMn=0,48 puntos de Manganeso

El ferrosilicomanganeso también posee silicio dentro de sus componentes, se obtiene 0,11 de silicio con el uso de ferrosilicio más 0,11 de silicio por el uso de ferrosilicomanganeso en total 0,22 de llegada al horno cuchara.

El uso del ferrosilicio se lo puede cambiar con el uso de carburo de silicio por motivos que posee carbono y silicio y ajustar los demás componentes con ferrosilicomanganeso, presentando que este item es muy alto para la fabricación de acero de medio carbono

**Propuesta de cálculo de adiciones en la actualidad para SAE 1026 de acuerdo a la ruta especificada en la actualidad para el uso de carburo de silicio.**

$$\text{Cantidad para adicionar por kg de ferroaleación} = \frac{\text{Tonelada de acero (Objetivo final-objetivo inicial)}}{\text{Rendimiento metalico} * \text{rendimiento de ferroaleación}}$$

$$\text{Kg FeSi} = \frac{5700000 (0.04-0.01)}{50 \times 85}$$

Kg FeSi=40,23 kg de ferrosilicio

Cálculo de llegada del Carbono con el uso de carburo de silicio

$$\text{Cantidad para adicionar en kg de Carburo de silicio} = \frac{\text{Kg Ferroaleacion} * \text{rendimiento metalico} * \text{rendimiento de ferroaleacion}}{\text{Tonelaje de acero}}$$

$$\text{Kg Carburo de silicio} = \frac{40,23 * 45 * 100}{5700000}$$

Kg Carburo de silicio = 0,03 puntos de carbono

Cálculo de llegada del Si con el uso de ferrosilicomanganeso

$$\text{FeSiMn} = \frac{\text{Tonelada de acero (Objetivo final-objetivo inicial)}}{\text{Rendimiento metalico} * \text{rendimiento de ferroaleación}}$$

$$\text{Kg FeSiMn} = \frac{5700000 (0.15-0.01)}{16.5 \times 85}$$

Kg FeSiMn=568 kg de ferrosilicomanganeso

Cálculo de llegada de Mn con el uso de ferrosilicomanganeso

Objetivo final de manganeso =  $X_f$

$$X_f = \frac{\text{Kg Ferroaleacion} \times \text{rendimiento metalico} \times \text{rendimiento de ferroaleacion}}{\text{Tonelaje de acero}}$$

$$\text{Kg FeSiMn} = \frac{568 \times 65 \times 95}{5700000}$$

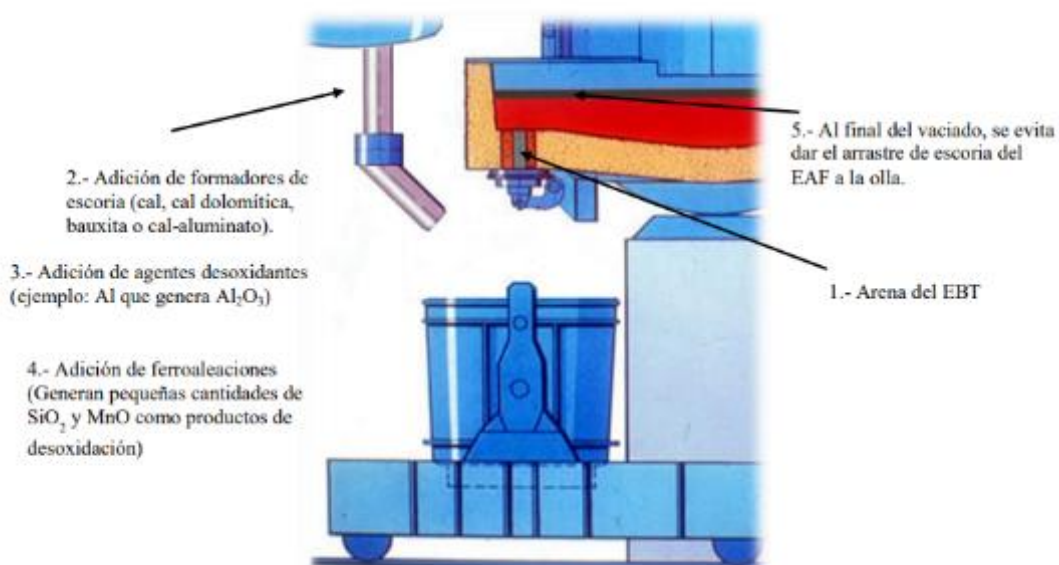
Kg FeSiMn=0,62 puntos de Manganeso

Se establece nuevas rutas de proceso de acuerdo a los cálculos obtenidos:

ESPECIFICACIÓN			
%	min	Obj.	max
C	0,265	<b>0,27</b>	0,290
Mn	0,75	<b>0,78</b>	0,830
P			0,035
S		<b>0,020</b>	0,030
Si	0,14	<b>0,16</b>	0,180
Cu			0,500
Ni			0,200
Cr			0,250
Sn			0,060
Mo			0,030
W			0,060
N (PPM)			120
Mn/Si		<b>4,9</b>	
Mn/S		<b>39</b>	
TEMP LIQUIDUS	1502		

TON ACERO	Método de Adición	Adiciones	CUCHARA GRANDE	Unidad de medida
5--8	Manual	Chatarra de Aluminio	3	KG
	Manual	Carburo de Silicio	35	KG
	Manual	Carbón	50--100	KG
10	MHS	FeSiMn	570	KG
	MHS	Cal Cálcica	180--190	KG
	MHS	Cal Dolomítica	30--35	KG
47-48	Manual	Fluorita	20--30	KG

Es de mucha importancia la correcta desoxidación del acero por motivos de poros en las palanquillas. Los poros en las palanquillas son causa de una mala desoxidación son el resultado de presencia de gases disueltos en el acero líquido, esto se puede evitar realizando la correcta desoxidación del acero desde el vaciado del horno eléctrico en la cuchara, se realizan las pruebas en coladas de SAE 1026 como se puede apreciar en la tabla 31, obteniendo buenos resultados en la primera muestra de llegada al horno cuchara en composición química del manganeso (Mn%) y silicio (Si%) y carbono (C%).



**Figura 24.** Ejemplo de ilustración de vaciado de horno eléctrico a cuchara



**Tabla 31.** Tabla de primeras muestras de coladas LF con nueva ruta de adiciones con uso de carburo de silicio y FeSiMn de acero en SAE 1026

SAE	Colada	C%	Si %	Mn%	P%	S %	Cu %	Cr%	Ni	Mo	Al	Sn	W	N	B	V	Fe	C.E	Mn/S	Mn/Si
SAE 1026	123898	0,18	0,08	0,547	0,014	0,036	0,321	0,099	0,077	0,013	0,000	0,019	0,002	0,0088	0,001	0,000	98,100	0,428	15,52	6,45
SAE 1026	123899	0,23	0,126	0,685	0,006	0,031	0,280	0,109	0,072	0,011	0,000	0,019	0,002	0,0086	0,001	0,000	98,100	0,435	21,83	5,45
SAE 1026	123900	0,203	0,124	0,669	0,006	0,036	0,323	0,107	0,078	0,016	0,000	0,020	0,002	0,0096	0,001	0,000	98,100	0,429	18,21	5,40
SAE 1026	123901	0,255	0,152	0,775	0,007	0,025	0,292	0,132	0,129	0,028	0,000	0,019	0,004	0,0113	0,001	0,000	98,100	0,443	29,21	4,82
SAE 1026	123902	0,212	0,166	0,725	0,007	0,034	0,313	0,104	0,092	0,020	0,000	0,021	0,002	0,0098	0,001	0,000	98,100	0,440	20,89	4,36
SAE 1026	123903	0,186	0,148	0,654	0,010	0,034	0,333	0,127	0,082	0,016	0,000	0,019	0,002	0,0106	0,001	0,000	98,100	0,443	18,90	4,44
SAE 1026	123904	0,217	0,136	0,729	0,023	0,036	0,301	0,141	0,095	0,018	0,000	0,018	0,002	0,0108	0,001	0,000	98,000	0,444	25,41	5,35
SAE 1026	123905	0,240	0,141	0,679	0,005	0,034	0,306	0,094	0,094	0,016	0,000	0,016	0,002	0,0106	0,001	0,000	98,100	0,444	19,47	4,83
SAE 1026	123906	0,227	0,164	0,695	0,007	0,032	0,324	0,107	0,089	0,017	0,000	0,017	0,002	0,0101	0,001	0,000	98,000	0,448	21,61	4,24
SAE 1026	123907	0,246	0,152	0,694	0,008	0,037	0,320	0,112	0,080	0,014	0,000	0,019	0,002	0,0095	0,001	0,000	98,100	0,434	18,49	4,57
SAE 1026	123908	0,171	0,08	0,547	0,014	0,036	0,321	0,099	0,077	0,013	0,000	0,019	0,002	0,0088	0,001	0,000	98,100	0,428	15,52	6,45
SAE 1026	123909	0,241	0,126	0,685	0,006	0,031	0,280	0,109	0,072	0,011	0,000	0,019	0,002	0,0086	0,001	0,000	98,100	0,435	21,83	5,45
SAE 1026	123910	0,151	0,124	0,669	0,006	0,036	0,323	0,107	0,078	0,016	0,000	0,020	0,002	0,0096	0,001	0,000	98,100	0,429	18,21	5,40
SAE 1026	123911	0,181	0,152	0,775	0,007	0,025	0,292	0,132	0,129	0,028	0,000	0,019	0,004	0,0113	0,001	0,000	98,100	0,443	29,21	4,82
SAE 1026	123912	0,200	0,166	0,725	0,007	0,034	0,313	0,104	0,092	0,020	0,000	0,021	0,002	0,0098	0,001	0,000	98,100	0,440	20,89	4,36
SAE 1026	123913	0,192	0,148	0,654	0,010	0,034	0,333	0,127	0,082	0,016	0,000	0,019	0,002	0,0106	0,001	0,000	98,100	0,443	18,90	4,44
SAE 1026	123914	0,217	0,136	0,729	0,023	0,036	0,301	0,141	0,095	0,018	0,000	0,018	0,002	0,0108	0,001	0,000	98,000	0,444	25,41	5,35
SAE 1026	123915	0,187	0,141	0,679	0,005	0,034	0,306	0,094	0,094	0,016	0,000	0,016	0,002	0,0106	0,001	0,000	98,100	0,444	19,47	4,83
SAE 1026	123916	0,200	0,164	0,695	0,007	0,032	0,324	0,107	0,089	0,017	0,000	0,017	0,002	0,0101	0,001	0,000	98,000	0,448	21,61	4,24
SAE 1026	123917	0,181	0,152	0,694	0,008	0,037	0,320	0,112	0,080	0,014	0,000	0,019	0,002	0,0095	0,001	0,000	98,100	0,434	18,49	4,57

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

Elaborado por autor

Meas.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	%
	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Conc.	Type Corr. Conc.	Conc.	Conc.
1	0,246	0,149	0,696	0,0089	0,0365	0,1041	0,0121	0,0727	<0,0000	0,0063
2	0,246	0,154	0,692	0,0084	0,0385	0,1043	0,0114	0,0726	<0,0000	0,0064
<x>	0,246	0,152	0,694	0,0086	0,0375	0,1042	0,0118	0,0727	<0,0000	0,0064

Meas.	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	As	B	Ca
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm
	Type Corr. Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Conc.	Conc.
1	0,2762	<0,000	<0,000	<0,0003	0,003	<0,0003	0,0149	0,0099	<0,0001	<0,0000
2	0,2783	<0,000	<0,000	<0,0003	0,002	<0,0003	0,0148	0,0079	0,0001	<0,0000
<x>	0,2773	<0,000	<0,000	<0,0003	0,002	<0,0003	0,0149	0,0089	0,0001	<0,0000

Meas.	Zn	N	O	Fe	S.R	C. E.	Mn/Si	Cr+Ni+Mo	Cu+B*(Sn)	Mn/S
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	Conc.	Conc.	Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.
1	0,017	0,0082	<0,0020	98,31	0,465	0,383	4,656	0,189	0,396	19,04
2	0,015	0,0088	<0,0020	98,31	0,467	0,382	4,503	0,188	0,397	17,97
<x>	0,016	0,0085	<0,0020	98,31	0,466	0,382	4,578	0,189	0,396	18,49

Meas.	C.E..	C.E...
	%	%
	Type Corr. Conc.	Type Corr. Conc.
1	1507	1507
2	1507	1507
<x>	1507	1507

**Figura 25.** Ejemplo de un resultado de composición química de colada de acero de SAE 1026 de llegada al horno cuchara mediante equipo de medición de composición química

### 4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS PARA EL PROCESO DE OPERACIÓN DE CUCHARAS.

#### COSTO DE CUCHARA DOLOMÍTICA

Para el análisis de objetivo de identificar las correctas técnicas operacionales en el proceso de afino del horno cuchara en los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono, por medio del cálculo del coeficiente de correlación de Spearman y la metodología de Gasik, se aplica la manipulación de la variable independiente de temperatura de llegada de acuerdo al procedimiento de operación de cucharas, este análisis inicia desde el cambio de material refractarios en la cuchara de ladrillo básico a dolomítico. En el cual se va a utilizar en la operación de producción el uso de cucharas de ladrillo dolomítico por su bajo costo, alta resistencia a la pérdida de temperatura, alta duración en la vida útil durante campañas largas de producción, posterior se continuará con los procedimientos de vaciado

**Tabla 32.** Tabla de materiales y costo de ladrillos dolomítico

<b>CUCHARA DOLOMITICA</b>				
<b>Código</b>	<b>Texto breve de material</b>	<b>Necesidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
35156	DOLOMAX-DC-3 ISO 25/0	180	\$9.65	\$1737
35157	DOLOMAX-DC-3 650K	304	\$7.07	\$2149.28
35159	DOLOMAX-DC-3 625K	320	\$6.63	\$2121.6
35161	DOLOMAX-Y18	240	\$9.26	\$2223.47

	625K			
35163	DOLOMAX-Y18	228	\$9.37	\$2136.36
	650K			
32613	SINDOFORM	40	\$13.88	\$555.20
	R40-6-US-30/0			
32652	ANKOFORM-	1	\$626.31	\$626.31
	A93M-12-BR			
	SD1170			
32653	ANKOFORM-	1	\$835.93	\$835.93
	A94MAS12BR			
	NL826GP			
				\$12385.15

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

### COMPARACIÓN DE VIDA UTIL DE COLADAS EN LOS TIPOS DE CUCHARAS

**Tabla 33.** Tabla de comparación de vida útil de cucharas y costo

Coladas por tipo de cucharas			
Cuchara con ladrillo dolomítico		Cucharas con ladrillo básico	
Vida útil por promedio por número de coladas	Costo de cuchara	Vida útil por promedio por número de coladas	Costo de cuchara
130 coladas	\$12385.15	60 coladas	\$26523.56

## ESTANDARIZACIÓN DE TEMPERATURA DE VACIADO DEL EAF (HORNO DE ARCO ELÉCTRICO)

**Tabla 34.** Temperatura de vaciado del EAF para cucharas dolomíticas.

Tipo de acero	Tipo de cuchara	Temperatura en °C
Bajo Carbono	Dolomítica Nueva	1630 a 1640
	Dolomítica en proceso	1610-1620
Medio Carbono	Dolomítica nueva	1680
	Dolomítica en proceso	1650-1660

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

La temperatura de vaciado es muy importante que se realice correctamente desde el horno de arco eléctrico. El horno de arco eléctrico (EAF) se encarga de proporcionar el ritmo de producción en la fundidora, mantener las temperaturas de vaciado garantizará un menor tiempo de power on (Tiempo de encendido) del horno cuchara. La temperatura de vaciado correcta desde el horno de arco eléctrico también minimiza el uso de energía eléctrica en horno cuchara, esto además incurre en el desgaste del refractario por un menor uso de energía eléctrica.

## ESTANDARIZACIÓN DE TEMPERATURA DE SUBIDA DEL LF (HORNO CUCHARA) A CCM (MÁQUINA DE COLADA CONTINUA)

**Tabla 35.** Tabla de estandarización de temperatura de subida del LF a CCM

Tipo de acero	Tipo de cuchara	Temperatura en °C
Bajo Carbono	Dolomítica Nueva	1630-1640
	Dolomítica en proceso	1620-1630
Medio Carbono	Dolomítica nueva	1615
	Dolomítica en proceso	1590-1605

El control de temperatura de envío hacia el área de colada continua es muy importante realizarla desde el área del horno de arco cuchara por motivos que si esta temperatura no es la adecuada se corre el riesgo de desperdiciar energía eléctrica elevando mucho la temperatura de operación, también se puede ocasionarse problemas operacionales debido a la falta de control de esta variable en el siguiente proceso antes mencionado, entre ellos: Perforaciones de línea, romboides alta, grietas longitudinales y transversales en las líneas de producción, entre otros.

### CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL HORNO CUCHARA

De adecuado control de temperatura de cucharas como lo mencionado antes y cumpliendo las condiciones de temperatura de vaciado de obtuvo los siguientes resultados como se muestra en la tabla 37.

**Tabla 36.** Tabla de muestreo sin procedimientos de vaciado de acero liquido

Muestro de tabla sin procedimientos de vaciado de acero liquido				
Colada	Temperatura de la llegada al LF con pérdidas de temperaturas por cucharas y baja temperatura de vaciado	Energía Eléctrica consumida en el LF en KWH	Tonelaje de acero	Energía eléctrica por tonelada utilizada en el horno cuchara (kwh/ton)
1	1550	2000	55	36.36
2	1540	2500	55	45.45
3	1555	1900	55	28.27
4	1560	1800	55	28.36
5	1550	2200	55	28.18
6	1550	2000	55	36.36
7	1540	2500	55	45.45
8	1555	1900	55	28.27
9	1560	1800	55	28.36
10	1550	2200	55	28.18
11	1550	2000	55	36.36
12	1540	2500	55	45.45
13	1555	1900	55	28.27
14	1560	1800	55	28.36
15	1550	2200	55	28.18
16	1550	2000	55	36.36
17	1540	2500	55	45.45

18	1555	1900	55	28.27
19	1560	1800	55	28.36
20	1550	2200	55	28.18
21	1550	2000	55	36.36
22	1540	2500	55	45.45
23	1555	1900	55	28.27
24	1560	1800	55	28.36
25	1550	2200	55	28.18
26	1550	2000	55	36.36
27	1540	2500	55	45.45

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

**Tabla 37.** Muestras con procedimiento de vaciado de acero liquido

Muestras con procedimientos de vaciado de acero liquido				
Colada	Temperatura de la llegada al LF sin perdidas de temperaturas por cucharas y buena temperatura de vaciado	Energía Eléctrica consumida en el LF	Tonelaje de acero	Energía eléctrica por tonelada utilizada en el horno cuchara (kwh/ton)
1	1590	1185	55	21.54
2	1590	1200	55	21.81
3	1596	1219	55	22.16
4	1587	1300	55	23.63
5	1598	1161	55	21.19



6	1590	1185	55	21.54
7	1590	1200	55	21.81
8	1596	1219	55	22.16
9	1587	1300	55	23.63
10	1598	1161	55	21.19
11	1590	1185	55	21.54
12	1590	1200	55	21.81
13	1596	1219	55	22.16
14	1587	1300	55	23.63
15	1598	1161	55	21.19
16	1598	1161	55	21.19
17	1590	1185	55	21.54
18	1590	1200	55	21.81
19	1596	1219	55	22.16
20	1587	1300	55	23.63
21	1598	1161	55	21.19
22	1598	1161	55	21.19
23	1590	1185	55	21.54
24	1590	1200	55	21.81
25	1596	1219	55	22.16
26	1587	1300	55	23.63
27	1598	1161	55	21.19

---

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

Se obtuvo mejora en los costos de ladrillo refractarios del área de cucharas a través de buenas prácticas operacionales desde el vaciado del horno de arco eléctrico (EAF) y la operación del horno cuchara (LF), la reducción de consumo de energía fue desde los 10 a 15 kW/ton por colada esto permitirá disminuir en un promedio de 5 minutos de tiempo de encendido en el horno cuchara, lo cual significa un ahorro de 200 kW/ton durante un día de producción de 24 horas en el cual se produce un promedio 25 coladas.

Adicional la implementación de cucharas dolomíticas por las básicas permitirá alargar la operación de la producción las cuales impedirán tener paradas imprevistas por cucharas.

## **HIPÓTESIS GENERAL**

**H<sub>0</sub>**.- La falta de un sistema de mejora en el proceso productivo no incide en la eficiencia de la elaboración del acero de medio y bajo carbono tomando en cuenta las categorías de materiales, medición y métodos en el proceso productivo del área de fundición.

**H<sub>1</sub>**.- La falta de un sistema de mejora en el proceso productivo incide en la eficiencia de la elaboración del acero de medio y bajo carbono tomando en cuenta las categorías de materiales, medición y métodos en el proceso productivo del área de fundición.

Comparación de P y alfa

P valor:  $0.000 < \alpha = 0.05$

Spearman= 0.874

**Tabla 38.** Tabla de relación de Spearman

Rangos	Magnitud
0 a 0.2	Muy baja o muy débil
<0.2 a 0.4	Baja o débil
<0.4 a 0.6	Moderada
<0.6 a 0.8	Alta o fuerte
<0.8 a 1	Muy alta o muy fuerte

Nota. Tomado de Ruíz Bolívar (2016, pág. 12)

**Tabla 39.** Verificación de hipótesis general

		Correlaciones		
			Revisión del proceso productivo	Costo de conversión
Rho de Spearman	Revisión del proceso productivo	Coeficiente de correlación	1.000	.874**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	14	14
	Costo de conversión	Coeficiente de correlación	.874**	1.000
Sig. (bilateral)			.000	.
		N	14	14

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Elaborado por Jorge Solorzano mediante software IBM SPSS 25

## **RESULTADO**

Se realiza la prueba de Shapiro-Wilk por la cantidad de nuestros datos menor a 50 obteniendo un valor de Sig < 0,05 indicando que nuestros datos son no paramétricos por lo tanto se realizó la correlación estadística con el método Spearman. Realizando la verificación de hipótesis y encontrado el P-valor (Sig=0,000) <  $\alpha=0,005$  se procede a rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, existe suficiente evidencia estadística que permite afirmar que el un sistema de mejora adecuado en el proceso productivo incide en la eficiencia de la elaboración del acero de medio y bajo carbono tomando en cuenta las categorías de materiales, medición y métodos en el proceso productivo del área de fundición.

Por tanto, el coeficiente de correlación de Spearman= 0,874 lo que significa una relación muy alta o muy fuerte, es decir que un sistema de mejora en proceso productivo beneficiará su eficiencia en la elaboración de acero de medio y bajo carbono.

## **VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS PARTICULAR**

### **Hipótesis particular 1**

**H<sub>0</sub>**.- El análisis de proceso de desoxidación de acero de medio y bajo carbono no inciden en las prácticas adecuadas que permitirán disminuir los altos costos de insumos de desoxidantes en el área de fundición.

**H<sub>1</sub>**.- El análisis de proceso de desoxidación de acero de medio y bajo carbono inciden en las prácticas adecuadas que permitirán disminuir los altos costos de insumos de desoxidantes en el área de fundición.

Comparación de P y alfa

P valor: 0.000 < alfa = 0.05

Spearman= 0.903

**Tabla 40.** Verificación de hipótesis particular 1

Correlaciones			Kg de consumo de desoxidantes	\$ Costos de desoxidantes en SAE 1026
Rho de Spearman	Procedimiento de desoxidación	Coefficiente de correlación	1.000	.903**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	24	24
	Costo de desoxidantes	Coefficiente de correlación	.903**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	24	24

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Elaborado por autor mediante software IBM SPSS 25

## RESULTADO

Se realiza la prueba de Shapiro-Wilk por la cantidad de nuestros datos menor a 50 obteniendo un valor de Sig < 0,05 indicando que nuestros datos son no paramétricos por lo tanto se realizó la correlación estadística con el método Spearman. Realizando la verificación de hipótesis y encontrado el P-valor (Sig=0,000) <  $\alpha=0,005$  se procede a rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, existe suficiente evidencia estadística que permite afirmar que el correcto análisis de proceso de desoxidación de acero de medio y bajo carbono inciden en las prácticas adecuadas que permitirán disminuir los altos costos de insumos de desoxidantes en el área de fundición.

Por tanto, el coeficiente de correlación de Spearman= 0,903 lo que significa una relación muy alta o muy fuerte, es decir que una temperatura adecuada de acero en la cuchara al horno de refinación mejora el consumo de energía eléctrica.

### Hipótesis particular 2

**H<sub>0</sub>**.- Las adecuadas técnicas de operación en los procesos de afino del horno cuchara para los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono no permitirán reducir el elevado consumo de energía eléctrica.

**H<sub>1</sub>**.- Las adecuadas técnicas de operación en los procesos de afino del horno cuchara para los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono permitirán reducir el elevado consumo de energía eléctrica.

Comparación de P y alfa

P valor: 0.000 < alfa = 0.05

Spearman= 0.926

**Tabla 41.** Verificación de hipótesis particular 2

		Correlaciones		
			Temperatura	Energía Eléctrica
Rho de Spearman	Temperatura	Coeficiente de correlación	1.000	.926**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	54	54
	Energía	Coeficiente de correlación	.926**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

---

Elaborado por Jorge Solorzano mediante software IBM SPSS 25

## **RESULTADO**

Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov por la cantidad de nuestros datos mayor a 50 obteniendo un valor de Sig < 0,05 indicando que nuestros datos son no paramétricos por lo tanto se realizó la correlación estadística con el método Spearman. Realizando la verificación de hipótesis y encontrado el P-valor (Sig=0,000) <  $\alpha=0,005$  se procede a rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, existe suficiente evidencia estadística que permite afirmar que las adecuadas técnicas de operación en los procesos de afino del horno cuchara para los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono permiten reducir el elevado consumo de energía eléctrica.

Por tanto, el coeficiente de correlación de Spearman= 0,926 lo que significa una relación muy alta o muy fuerte, es decir que mejor llegada de temperatura de llegada al horno cuchara mejora el consumo de energía eléctrica en el horno cuchara.

### **Hipótesis particular 3**

**H<sub>0</sub>.**- La revisión del procedimiento que genera escoria espumosa, utilizada en el control del desgaste del ladrillo refractario que recubre el horno de arco eléctrico no incide en el objetivo de estandarizar los costos de materiales utilizados en el mantenimiento.

**H<sub>1</sub>.**- La revisión del procedimiento que genera escoria espumosa, utilizada en el control del desgaste del ladrillo refractario que recubre el horno de arco eléctrico incide en el objetivo de estandarizar los costos de materiales utilizados en el mantenimiento.

Comparación de P y alfa

P valor: 0.000 < alfa = 0.05

Spearman= 0.702

**Tabla 42.** Verificación de hipótesis particular 3

		Correlaciones		
			Costo de refractario del horno de arco eléctrico	Basicidad
Rho de Spearman	Paradas de producción	Coefficiente de correlación	1.000	.702**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	40	40
	Basicidad	Coefficiente de correlación	.702**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	40	40

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Elaborado por Jorge Solorzano mediante software IBM SPSS 25

## RESULTADO

Se realiza la prueba de Shapiro-Wilk por la cantidad de nuestros datos menor a 50 obteniendo un valor de Sig < 0,05 indicando que nuestros datos son no paramétricos por lo tanto se realizó la correlación estadística con el método Spearman. Realizando la verificación de hipótesis y encontrado el P-valor (Sig=0,000) <  $\alpha=0,005$  se procede a rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, existe suficiente evidencia estadística que permite afirmar que revisión del procedimiento adecuado de generación de escoria espumosa, utilizada en el control del desgaste del ladrillo refractario que recubre el



horno de arco eléctrico incide en el objetivo de estandarizar los costos de materiales utilizados en el mantenimiento

Por tanto, el coeficiente de correlación de Spearman= 0,702 lo que significa una relación alto o fuerte, es decir que controlando la basicidad del horno de arco eléctrico permitirá reducir el desgaste de ladrillo del horno de arco eléctrico.

#### Hipótesis particular 4

**H<sub>0</sub>**.- Un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y procesos estudiados no inciden en la disminución de costos de producción.

**H<sub>1</sub>**.- Un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y procesos estudiados inciden en la disminución de costos de producción.

Comparación de P y alfa

P valor: 0.000 < alfa = 0.05

Spearman= 0.73

**Tabla 43.** Verificación de hipótesis particular 4

		Correlaciones		
			Estudios de tiempo realizados	Minutos de power off
Rho de Spearman	Paradas de producción	Coefficiente de correlación	1.000	.72**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	60	60
	Basicidad	Coefficiente de correlación	.72**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

---

Elaborado por Jorge Solorzano mediante software IBM SPSS 25

## RESULTADO

Se realiza la prueba de Shapiro-Wilk por la cantidad de nuestros datos menor a 50 obteniendo un valor de Sig < 0,05 indicando que nuestros datos son no paramétricos por lo tanto se realizó la correlación estadística con el método Spearman. Realizando la verificación de hipótesis y encontrado el P-valor (Sig=0,000) <  $\alpha=0,005$  se procede a rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, existe suficiente evidencia estadística que permite afirmar un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y procesos estudiados inciden en la disminución de costos de producción.

Por tanto, el coeficiente de correlación de Spearman= 0,72 lo que significa una relación alto o fuerte, es decir que realizando un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y proceso estudiados permitirán reducir los costos de producción.

Cálculo de coeficiente Cronbach mediante los coeficientes de correlación se procede a realizar mediante la matriz de correlación en el software SPSS, se detalla la formula:

$$\alpha: \frac{np}{1+p(n-1)}$$

Donde:

$\alpha$ : Alfa de Cronbach

K: Numero de ítems: 10

p: promedio de las correlaciones de los ítems: 0,825

**Tabla 44.** Análisis de fiabilidad del Alfa de Cronbach

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
0,971	0,952	10

---

Nota. Elaborado por Jorge Solorzano mediante software IBM SPSS 25

**Tabla 45.** Tabla de Interpretación del coeficiente de confiabilidad

Rangos	Magnitud
<u>0,81 a 1,00</u>	<u>Muy alta</u>
0,61 a 0,80	Alta
0,41 a 0,60	Moderada
0,21 a 0,40	Baja
0,01 a 0,20	Muy baja

---

Nota. Tomado de Ruíz Bolívar (2016, pág. 12)

## **RESULTADO**

Mediante los datos estadísticos y la información analizada se obtuvo el valor del alfa de Cronbach de 0,971, de acuerdo al nivel de investigación correlacional, se obtiene que los métodos planteados en esta investigación son factibles de acuerdo a los resultados obtenidos, los cuales se encuentran dentro de un rango de confiabilidad de 0,81 a 1 de acuerdo al valor obtenido en el IBM SPSS 25

## **CAPÍTULO V**

### **5.1 PROPUESTA DEL PROYECTO**

#### **5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO**

En este capítulo se detalla la propuesta la cual se encuentra enfocada en fundamentar de manera teórica la elaboración de un análisis de la eficiencia del proceso productivo de elaboración de acero de medio y bajo carbono en una empresa siderúrgica ubicada en Milagro, de acuerdo a los resultados obtenidos se estableció los lineamientos para mantener una formación de escoria espumosa adecuada en el horno de arco eléctrico, se realizó una propuesta de mejora en la desoxidación de acero durante el vaciado para el acero de medio carbono, se estableció las adecuadas operaciones de cucharas en el vaciado desde el horno de arco eléctrico y el horno cuchara, se estableció un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y los procesos estudiados mediante un estudio de tiempos en la producción del área de estudio.

#### **PROPUESTA DE MEJORA DE FORMACIÓN DE ESCORIA ESPUMOSA**

De acuerdo a los resultados obtenidos del objetivo específico de procedimiento que genera escoria espumosa, utilizada en el control del desgaste del ladrillo refractario que recubre el horno de arco eléctrico, se identificó que una basicidad binaria adecuada mejora el estado de refractario y maximiza el índice de espumación de la escoria en el acero de medio carbón y bajo carbón. Según los resultados alcanzados, se reconoce que el proceso de SAE de medio carbono requiere un aumento en materias primas de los escorificantes utilizados en el horno de arco eléctrico entre ellos la cal dolomítica y cal

cálcica promedio a la que se encuentra establecido. De esto se puede determinar que la cantidad de escorificantes a agregar es alta en comparación con la cantidad de material de fundición fabricado en 2020, como se muestra en la Tabla 46.

**Tabla 46.** Comparativo de escorificantes en el 2020 y la propuesta actual para los SAE de medio carbono.

<b>Materia Prima</b>	<b>Cal dolomítica (kg)</b>	<b>Cal Cálcica (kg)</b>
Año 2020	500	500
Propuesta obtenida en función al balance de masa	1600	500

Elaborado por autor



De acuerdo con la propuesta de mejora, se identificó que el proceso de SAE de bajo carbono requiere un aumento en materias primas de los escorificantes utilizados en el horno de arco eléctrico entre ellos la cal dolomítica y cal cálcica promedio a la que se encuentra establecida. De esto se logró determinar que la cantidad de escorificantes a agregar es alta en comparación con la cantidad de material de fundición fabricado en 2020, como se muestra en la Tabla 47.

**Tabla 47.** Comparativo de escorificantes en el 2020 y la propuesta actual para los SAE de bajo carbono.

<b>Materia Prima</b>	<b>Cal dolomítica (kg)</b>	<b>Cal Cálcica (kg)</b>
Año 2020	500	500
Propuesta obtenida en función al balance de masa	2400	500

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Tabla 48.** Tabla de comparación de refractario en el EAF sin controlada y controlando la basicidad del EAF y la saturación del MgO

Sin controlar la basicidad y saturación del MgO	Controlando la basicidad y saturación del MgO
	
<p><b>Resultado:</b> Desgaste de ladrillo refractario inoportuno, paradas imprevista, incremento de costos de refractarios</p>	<p><b>Resultado:</b> Ladrillo protegido dentro del EAF, producción continua sin tiempos para reparar el EAF, se puede apreciar que la obtención de la saturación de la escoria en el horno de arco eléctrico</p>

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**PROPUESTA DE MEJORA DE USO DE DESOXIDANTES EN ACEROS DE MEDIO CARBONO**

De acuerdo a los resultados obtenidos del objetivo específico de analizar el proceso de desoxidación de acero de medio y bajo carbono del horno cuchara, mediante la metodología de Ellingham, se identificó la practica adecuada de operación del horno cuchara como se puede observar en la tabla 50 para SAE medio carbono 1026.

**Tabla 49.** Ruta de adición de materiales para aceros de medio carbono para SAE 1026 actual

<b>Burbujeo (l/min)</b>	<b>Toneladas de Acero</b>	<b>Métodos de Adición</b>	<b>Adición</b>	<b>Cantidad en Kg</b>
150	5-8	MHS	Carbón	30
130	8-10	Manual	Ferrosilicio	88
120	10	MHS	FeSiMn	447
100	10-25	MHS	Cal Cálctica	200
70	47-56			
	Temperatura de vaciado del EAF (°C)			1610-1620
	PPM de oxigeno			200-800

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Propuesta de ruta de adición de materiales para aceros de medio carbono para SAE 1026**

Se propuso realizar el uso de la tabla 50 para optimizar el uso del desoxidante mediante una nueva ruta de adición de materiales durante el vaciado de una cuchara. La nueva ruta de adiciones la cual mejora el uso del ferrosilicio que se está utilizando de forma

inadecuada, esto permitió reducir el consumo de este ítem el cual mantiene un costo muy elevado para el uso en SAE de medio carbono

**Tabla 50.** Propuesta de ruta de adición de materiales para aceros de medio carbono

<b>Burbujeo (l/min)</b>	<b>Toneladas de Acero</b>	<b>Métodos de Adición</b>	<b>Adición</b>	<b>Cantidad en Kg</b>
150	5--8	Manual	Chatarra de Aluminio	3
140	9	Manual	Carburo de Silicio	35
120	10	Manual	Carbón	50-100
130	11	MHS	FeSiMn	570
100	25	MHS	Cal Cálctica	180-190
80	35	MHS	Cal Dolomítica	30-35
70	47-48	Manual	Fluorita	20-30
Temperatura de vaciado del EAF (°C)				1650-1660
PPM de oxígeno				200-800

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción



## PROPUESTA DE MEJORA DE OPERACIÓN DE CUCHARAS

De acuerdo a los resultados obtenidos del objetivos específico permitió identificar las correctas técnicas operacionales en el proceso de afino del horno cuchara en los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono mediante la metodología de Gasik, en la cual se realizó la revisión de la actualización del diagrama de flujo de proceso obtenido mediante el uso de la estación de mantenimiento de cucharas, utilización de ladrillo dolomítico como revestimiento en la cuchara y estandarización de temperatura de vaciado del proceso del horno eléctrico y temperatura de envío al área de colada continua.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ACTUAL					
OPERACIÓN DE CUCHARAS-CONDICIÓN DE OPERACIÓN EN MANTENIMIENTO DURANTE EL PROCESO					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL: X	MÉTODO PROPUESTO:			FECHA: MAYO 2022
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
CANTIDAD TOTAL	15	0	0	0	0
TIEMPO TOTAL	41,560	0	0	0	0
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACION		
Levantamiento de tapa con grua de 100 ton	● → ▽ D □	0,68			
Levantamiento de cuchara hasta el area de limpieza de cucharas	● → ▽ D □	2,04			
Vaciado de escoria en playa de cucharas	● → ▽ D □	2,09			
Limpieza de portabuza y cono interno (Parte interna)	● → ▽ D □	1,03	Se realizará en estación de mantenimiento con colocación de escudo		
Limpieza de tapon de burbujeo (Parte interna)	● → ▽ D □	0,73	Se realizará en estación de mantenimiento con colocación de escudo		
Limpieza de portabuza, placas y cono externo (Parte externa)	● → ▽ D □	2,11	Se realizará en estación de mantenimiento con colocación de escudo		
Limpieza del filo de la cuchara	● → ▽ D □	1,95			
Traslado de cuchara a estacion de mantenimiento	● → ▽ D □	2,76			
Cambio de cono interno (Cada 16 coladas)	● → ▽ D □	7,15			
Cambio de cono externo (Cada 8 coladas)	● → ▽ D □	8,93			
Reparacion de bloque	● → ▽ D □	6,57			
Lubricacion y limpieza de mecanismo	● → ▽ D □	1,09			
Traslado hacia la plataforma de colocacion de arena	● → ▽ D □	1,4	Se realizara de manera directa en el paso de la cuchara al horno de arco eléctrico		
Arenado	● → ▽ D □	1,09	Se realizara de manera directa en el paso de la cuchara al horno de arco eléctrico		
Plataforma a calentador o soporte	● → ▽ D □	1,94			

**Figura 26.** Diagrama de flujo de proceso actual-Condición de operación en mantenimiento durante el proceso productivo

En la figura 27 se observa los tiempos de operación de cucharas durante el mantenimiento en un proceso de producción, se reducen mediante el uso de la estación de mantenimiento de cucharas desde 41,56 minutos hasta 35,44 minutos entre cucharas, obteniendo un total de 6,12 minutos de reducción en los tiempos.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PROPUESTO					
OPERACIÓN DE CUCCHARAS-CONDICIÓN DE OPERACIÓN EN MANTENIMIENTO DURANTE EL PROCESO					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL:	MÉTODO PROPUESTO: X			FECHA: MAYO 2022
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
CANTIDAD TOTAL	11	0	0	0	0
TIEMPO TOTAL	35,440	0	0	0	0
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACION		
Levantamiento de tapa con grúa de 100 ton	● → ▽ D □	0,68			
Levantamiento de cuchara hasta el area de limpieza de cucharas	● → ▽ D □	2,04			
Vaciado de escoria en playa de cucharas	● → ▽ D □	2,09			
Limpieza del filo de la cuchara	● → ▽ D □	1,95			
Traslado de cuchara a estación de mantenimiento	● → ▽ D □	2			
Limpieza de cono externo, cono interno, tapón	● → ▽ D □	1			
Cambio de cono interno (Cada 16 coladas)	● → ▽ D □	7,15			
Cambio de cono externo (Cada 8 coladas)	● → ▽ D □	8,93			
Reparación de bloque	● → ▽ D □	6,57			
Lubricación y limpieza de mecanismo	● → ▽ D □	1,09			
Plataforma a calentador o soporte	● → ▽ D □	1,94	En el traslado de la cuchara hacia el horno de arco eléctrico se realizará la colocación de arena		

**Figura 27.** Diagrama de flujo de proceso propuesto-Condición de operación en mantenimiento durante el proceso productivo

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ACTUAL					
OPERACIÓN DE CUCHARAS-CONDICION DE OPERACIÓN NORMAL					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL: X	MÉTODO PROPUESTO:			FECHA: MAYO 2022
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
<b>CANTIDAD TOTAL</b>	12	0	0	0	0
<b>TIEMPO TOTAL</b>	18,910	0	0	0	0
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACION		
Levantamiento de tapa con grua de 100 ton	● → ▽ D □	0,68			
Levantamiento de cuchara hasta el area de limpieza de cucharas	● → ▽ D □	2,04			
Vaciado de escoria en playa de cucharas	● → ▽ D □	2,09			
Limpieza de portabuzo y cono interno (Parte interna)	● → ▽ D □	1,03	Se realizará en estacion de mantenimiento con colocación de escudo		
Limpieza de tapon de burbujeo (Parte interna)	● → ▽ D □	0,73	Se realizará en estacion de mantenimiento con colocación de escudo		
Limpieza de portabuzo, placas y cono externo (Parte externa)	● → ▽ D □	2,11	Se realizará en estacion de mantenimiento con colocación de escudo		
Limpieza del filo de la cuchara	● → ▽ D □	1,95			
Traslado de cuchara a estacion de mantenimiento	● → ▽ D □	2,76			
Lubricacion y limpieza de mecanismo	● → ▽ D □	1,09			
Traslado hacia la plataforma de colocacion de arena	● → ▽ D □	1,4	Se realizara de manera directa en el paso de la cuchara al horno de arco eléctrico		
Arenado	● → ▽ D □	1,09	Se realizara de manera directa en el paso de la cuchara al horno de arco eléctrico		
Plataforma a calentador o soporte	● → ▽ D □	1,94			

**Figura 28.** Diagrama de flujo de proceso actual-Condición de operación normal de cucharas

En la figura 29 se observa los tiempos de operación de cucharas en condición normal de operación en el proceso de producción, se reducen los tiempos mediante el uso de la estación de mantenimiento de cucharas desde 18,91 minutos hasta 13,55 min entre cucharas, obteniendo un total de 5, minutos de reducción en los tiempos

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ACTUAL					
OPERACIÓN DE CUCHARAS-CONDICION DE OPERACIÓN NORMAL					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL:	MÉTODO PROPUESTO: X			FECHA: MAYO 2022
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
CANTIDAD TOTAL	8	0	0	0	0
TIEMPO TOTAL	13,550	0	0	0	0
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACION		
Levantamiento de tapa con grúa de 100 ton	● → ▽ D □	0,68			
Levantamiento de cuchara hasta el área de limpieza de cucharas	● → ▽ D □	2,04			
Vaciado de escoria en playa de cucharas	● → ▽ D □	2,09			
Limpieza del filo de la cuchara	● → ▽ D □	1,95			
Traslado de cuchara a estación de mantenimiento	● → ▽ D □	2,76			
Limpieza de cono externo, cono interno, tapón	● → ▽ D □	1			
Lubricación y limpieza de mecanismo	● → ▽ D □	1,09			
Plataforma a calentador o soporte	● → ▽ D □	1,94	En el traslado de la cuchara hacia el horno de arco eléctrico se realizará la colocación de arena		

**Figura 29.** Diagrama de flujo de proceso propuesto-Condición de operación normal de cucharas

### IMPLEMENTACIÓN DE 3 CUCHARAS EN EL CIRCUITO DE OPERACIÓN Y 1 CUCHARA DE RESERVA EN LA ESTACIÓN DE MANTENIMIENTO DE CUCHARAS.

- Menor tiempo de espera de la cuchara para ingresar al colado, menor pérdida de temperatura.
- Incremento de la vida útil de las cucharas.
- Facilita la planificación de reparación de cucharas.
- En operación se tiene una cuchara próxima a fin de campaña, una cuchara próxima a línea de escoria y una cuchara nueva, lo que permite mantener un buen peso promedio de tonelaje por colada.
- Es de importancia mantener una cuchara de reserva la cual permite utilizarla cuando una de las 3 se encuentran con problemas operacionales.

**Figura 30.** Cuchara de reserva



En la actualidad el área de fundición trabaja con cucharas de ladrillos básicos, se propuso utilizar cucharas con revestimiento de ladrillo dolomíticos los cuales se encuentran a menor costo y un mayor beneficio para la productividad del área de fundición.

#### **Costo de cuchara básica**

**Tabla 51.** Tabla de materiales y costo de ladrillos básicos

<b>CUCHARA BASICA</b>				
<b>Código</b>	<b>Texto breve de material</b>	<b>Necesidad en Unidades</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
32120	RADEX- SMAC-521 25/0	210	\$21.48	\$4510.14
32121	RADEX- SMAC-521 30/0	40	\$28.51	\$1140.35

32124	RADEX- SMAC-521 6/20	630	\$13.80	\$8692.87
32125	RADEX- SMAC-521 6/30	320	\$13.53	\$4330.08
39648	GNOX-L-A3-D 6/20	350	\$14.54	\$5089.55
39649	GNOX-L-A3-D 6/30	120	\$14.23	\$1707.75
39642	SEDEKOR-95- UHS-A SG 127356	1	\$523.40	\$523.40
39647	SEDEKOR-95- FM SP 000208 436X360X360	1	\$529.42	\$529.42
				\$26523.56

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

**Costo de cuchara dolomítica**

**Tabla 52.** Tabla de materiales y costo de ladrillos dolomítico

<b>CUCHARA DOLOMÍTICA</b>				
<b>Código</b>	<b>Texto breve de material</b>	<b>Necesidad en unidades</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
35156	DOLOMAX-DC-3 ISO 25/0	180	\$9.65	\$1737
35157	DOLOMAX-DC-3 650K	304	\$7.07	\$2149.28
35159	DOLOMAX-DC-3 625K	320	\$6.63	\$2121.6
35161	DOLOMAX-Y18 625K	240	\$9.26	\$2223.47
35163	DOLOMAX-Y18 650K	228	\$9.37	\$2136.36
32613	SINDOFORM R40-6-US-30/0	40	\$13.88	\$555.20
32652	ANKOFORM- A93M-12-BR SD1170	1	\$626.31	\$626.31
32653	ANKOFORM- A94MAS12BR NL826GP	1	\$835.93	\$835.93
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$12385.15</b>

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

La implementación de cucharas dolomíticas por las básicas permitió alargar la operación de la producción la cual impidió tener paradas imprevistas por cucharas.

**Tabla 53.** Tabla de ahorro de costos en dólares por toneladas

Tipo de cuchara	Costo de cuchara	Cantidad de final de campañas que se realizan al mes	Ahorro en costo	Tonelaje de acero	Dólares por tonelada
Básica	\$26523.56	6	\$156141.36	30000	5.2047
Dolomítica	\$12385.15	3	\$37155.45	30000	1.2385
Diferencia					3.9662

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Elaborado por autor**

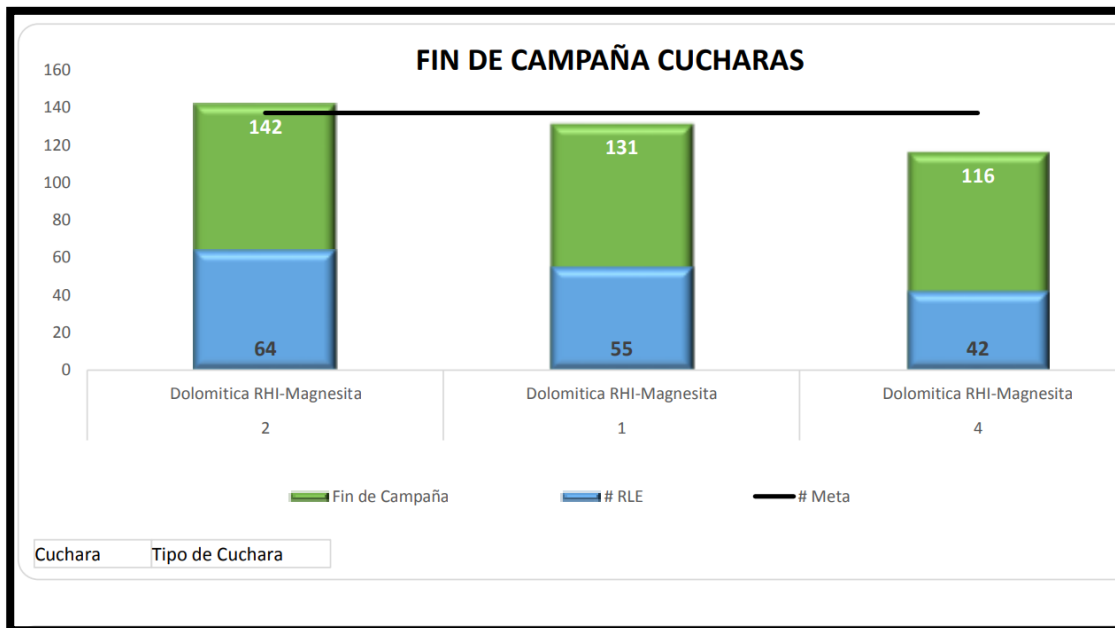
**Tabla 54.** Tabla de comparación de costos de cucharas

Ítem	Costo
Cuchara dolomítica	\$12385.15
Cuchara básica	\$26523.56
Diferencia de optimización en costo	\$14138.4

Elaborado por autor



En consideración de acuerdo a la tabla 54, en el costo de cucharas se obtuvo un ahorro de \$14138.4 utilizando cucharas con ladrillo dolomítico, tomando en consideración que al mes con ladrillo básico saldrían 6 cucharas de operación para reparación total, en cambio con el ladrillo dolomítico solo saldrían 3 cucharas de operación.



**Figura 31.** Fin de campaña de cucharas

### **Beneficios de uso de cuchara con ladrillo dolomítico durante el proceso de producción de acería**

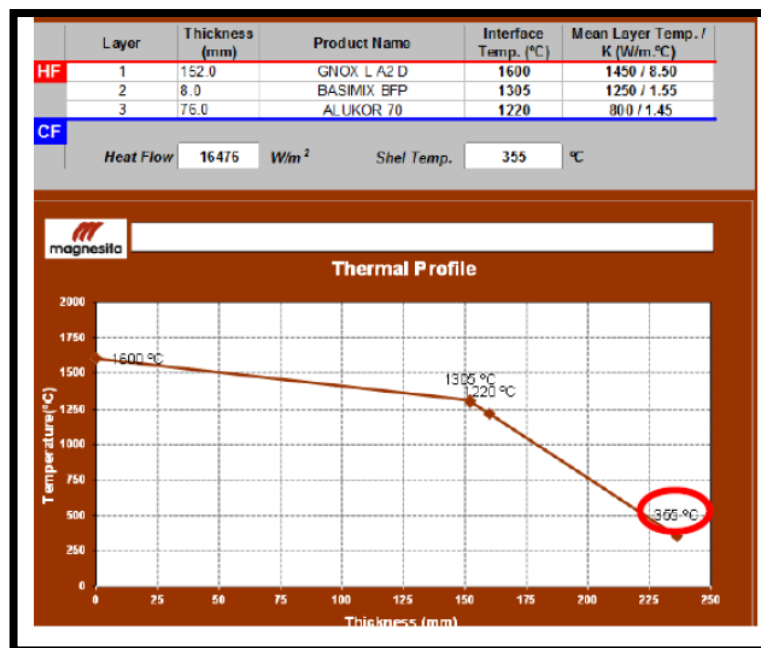
El ladrillo refractario dolomítico con las condiciones adecuadas de operación y adecuada composición química, será capaz de resistir la degradación química, mecánica y térmica, garantizando un alto rendimiento,

Los principales beneficios son:

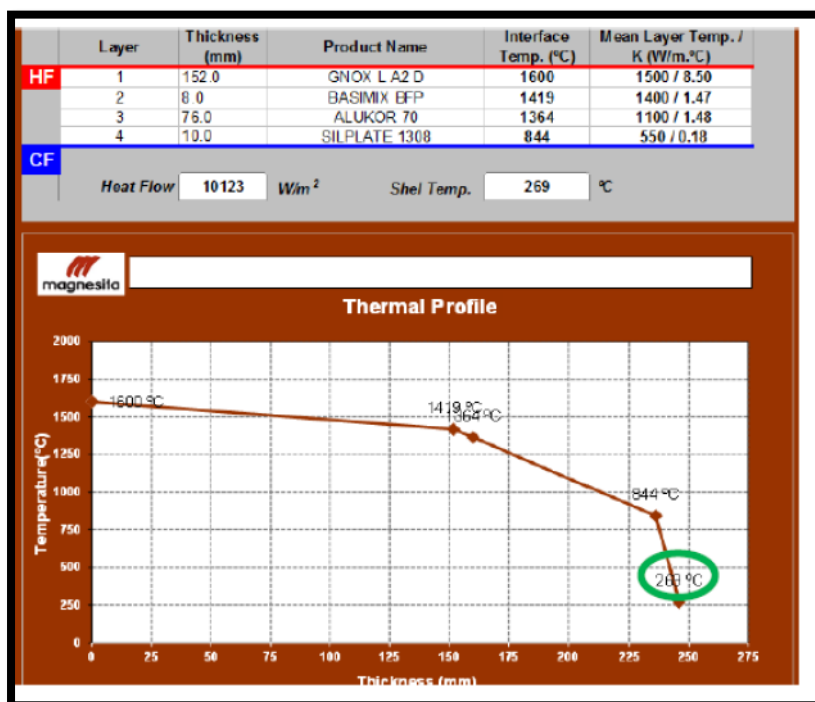
- Alta estabilidad de los óxidos que lo componen.
- Óptima desulfuración y desoxidación del acero.
- Mejora de la colabilidad.

- El Óxido de calcio (CaO) presente en la dolomía favorece la desulfuración.
- Posee mejor aislamiento, por consiguiente, aumenta el ahorro energético.
- Compatibilidad con otras materias primas.
- Menor costo unitario por cuchara para el proceso.
- Mayor tiempo de vida útil de cucharas con respecto a las básicas

Previo a la obtención de la cuchara se realizará unas modificaciones al sistema de armado de cuchara, se colocó un aislante térmico en la cuchara para reducir las pérdidas de temperaturas. La placa Silplate-1308 de 10mm de espesor se usa para disminuir las pérdidas térmicas de las paredes de las cucharas de acería.



**Figura 32.** Diagrama de calentamiento de cuchara sin aislante



**Figura 33.** Diagrama de calentamiento de cuchara con aislante térmico

**Tabla 55:** Tabla de procedimiento de calentamiento inicial para arranque de cucharas

Procedimiento de calentamiento inicial para arranque de operación de cucharas de acería después del armado de cucharas.	
1.-	Iniciar el calentamiento en el calentador vertical a una velocidad de 110°C/h por 10 horas.
2.-	No debe iniciar el calentamiento en el calentador horizontal, debido a que esto provocaría riesgos de filtración de acero líquido en la operación.
3.-	Después de haber cumplido el ciclo por 10 horas en el calentador vertical se puede trasladar al calentador horizontal.
4.-	El ciclo por 4 horas a 1100°C en el calentador horizontal es importante para poder garantizar el agarre térmico de los ladrillos refractario.
5.-	Culminado el ciclo de calentamiento, la cuchar esta lista para recibir el acero líquido.

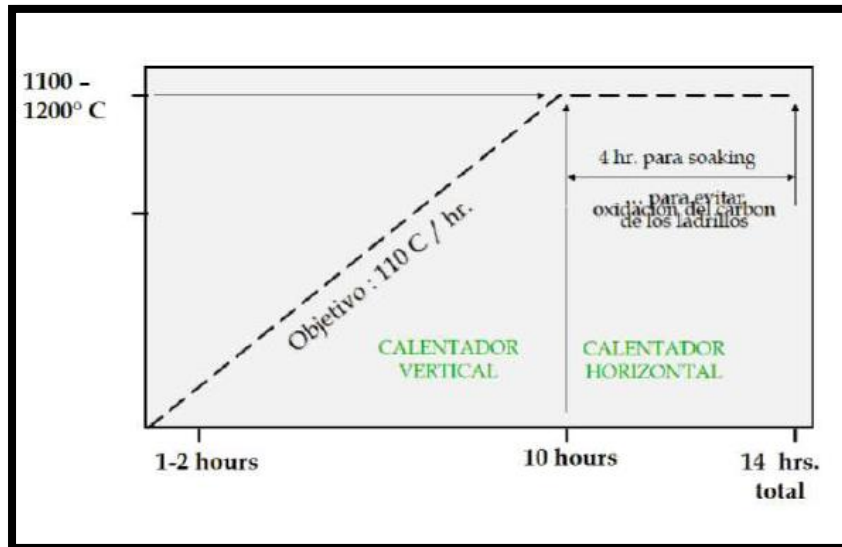
6.-	Curvas de calentamiento con tiempos mayores a 14 horas generación oxidación de los ladrillos MgO-C y por ende caída del rendimiento.
-----	--

Elaborado por autor

### **Recomendaciones con las cucharas dolomíticas.**

- Precalentamiento de los nuevos revestimientos a una temperatura mínima a 1000 °C en un periodo de 10 a 12 horas. Es recomendable el uso de calentadores verticales.
- Evitar el uso de oxígeno en los calentadores de modo de preservar el carbón de la fase caliente de los ladrillos, evitando infiltración de escorias con consecuente sinterización y densificación.
- Evitar la caída de la temperatura de la cuchara en los periodos de cuchara vacía, a través del uso de tapas y/o pre calentadores.
- En cortos periodo de paradas imprevistas o sea menores o igual a 24 horas, se recomienda que la temperatura de la cuchara no sea menor a 760 °C, esta temperatura es suficiente para garantizar que no exista pulverización del “coating” capa protectora formada en la fase caliente del ladrillo y evitar posible hidratación del ladrillo dolomítico.
- En grandes periodos de paradas, se recomienda que sea realizado un enfriamiento natural con la cuchara tapada; en este caso la adición de cal (150-200kg) en el fondo de la cuchara con objetivo de evitar hidratación es también indicado.
- Cuando la cuchara retorna al servicio después del enfriamiento total, debe ser hecho el calentamiento original descrito en la figura 33.

- De ningún modo se debe realizar proyección o reparación en de alguna cuchara con ladrillo dolomítico, si existiera la necesidad de reparo por proyección esta debe de ser realizada en caliente.



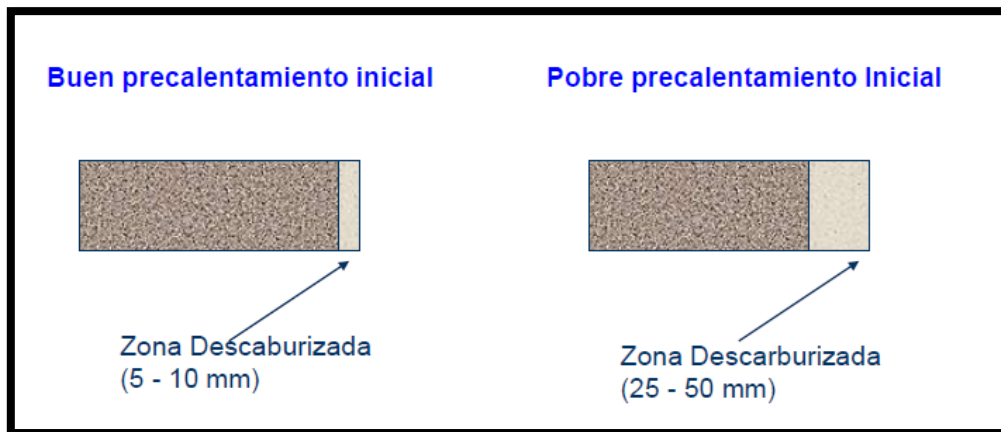
**Figura 34.** Curva de calentamiento de refractario dolomítico

### IMPORTANCIA DEL PRECALENTAMIENTO EN LA OPERACIÓN

Mientras más es el precalentamiento inicial arriba de 20 horas, mayor será la zona descarbonatada.

La zona descarbonatada densificará y sufrirá spalling o deconchamiento luego de las primeras coladas en la campaña de la cuchara.

Mientras mayor sea la zona descarbonatada, mayor y más severo será el deconchamiento del ladrillo



**Figura 35.** Comparación de tipo de calentamiento

## **BUENA PRÁCTICA PARA LIMITAR LA DESCARBONATACIÓN DE LOS LADRILLOS**




- Usar los tiempos de precalentamiento recomendados.
- Realizar una o dos coladas en la cuchara lo cual permitirá sellar la porosidad y desarrollar un coating en el ladrillo
- Usar las cucharas con mayor frecuencia en ciclo
- Limitar el número de cucharas en servicio
- Mantener las cucharas tapadas
- Mantener los calentadores en buen estado con el fin de evitar excesiva oxidación.

## **EFFECTOS DE UNA MALA PRÁCTICA DE PRECALENTAMIENTO**

- Permite el spalling o choque térmico.
- Puede llevar a romper el ladrillo de tan rápida expansión.
- Frecuentemente la zona descarbonatada los ladrillos resinados es causado posterior spalling.
- Puede producir juntas abiertas.

## ENFRIAMIENTO DE CUCHARA PREVIO AL COLADO O VACIADO DEL EAF

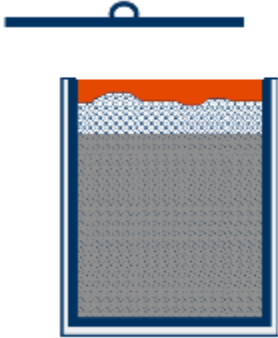
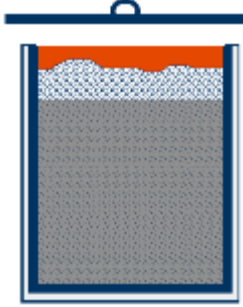
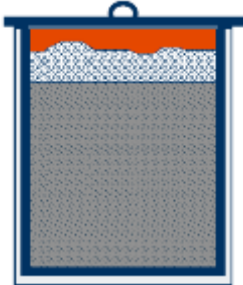
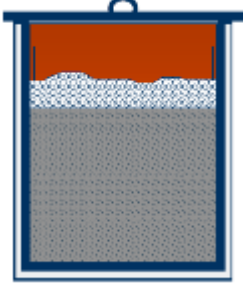
**Tabla 56.** Tabla de enfriamiento de cuchara previo al vaciado del EAF

Inmediatamente después de un buen precalentamiento, cuchara bien precalentada la cual tiene una temperatura uniforme	
Cuchara luego de más de 10min esperando debajo del HEA, el enfriamiento inicia en la pared superior	
Luego de 20 minutos de retraso del colado del HEA, la pared superior ha enfriado y sufrirá choque térmico y penetración, el piso y la pared baja aún continúan calientes	

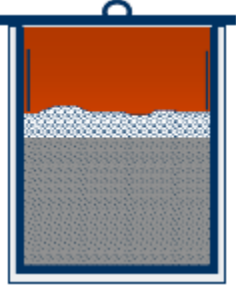
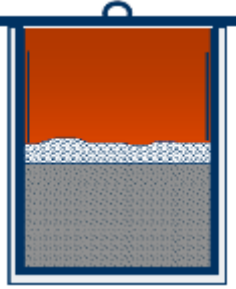
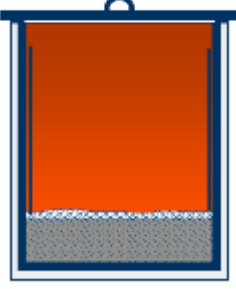
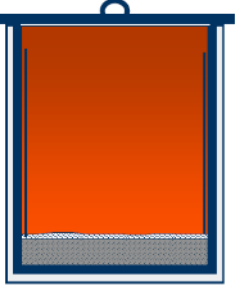

### USO DE TAPAS DE CUCHARAS






- Las tapas de cucharas mantienen la cuchara completa más caliente.
- Reduce la caída de temperatura en la colada continua.
- La tapa mantiene la escoria fluida.
- Las filtraciones son reducidas.

**Tabla 57.** Tabla de uso de tapas de cucharas

<p>Las Tapas de cuchara deben ser colocadas tan pronto acaba el procesamiento</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a ladle. The ladle is filled with a grey material (slag) and a thin layer of orange material (slag) on top. A blue lid with a handle is positioned above the ladle, not yet covering it.</p>
<p>Se conservará el calor en la cuchara y mantiene la escoria fluida.</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a ladle. The ladle is filled with a grey material (slag) and a thin layer of orange material (slag) on top. A blue lid with a handle is placed on top of the ladle, covering the slag layer.</p>
<p>Escorias aislantes no son necesarias.</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a ladle. The ladle is filled with a grey material (slag) and a thin layer of orange material (slag) on top. A blue lid with a handle is placed on top of the ladle, covering the slag layer.</p>
<p>Por mantener la escoria más fluida un coating se formará más fácilmente.</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a ladle. The ladle is filled with a grey material (slag) and a thin layer of orange material (slag) on top. A blue lid with a handle is placed on top of the ladle, covering the slag layer.</p>



<p>La pared superior se mantiene caliente conservando el calor del baño.</p>	
<p>El volumen de la escoria es reducido conforme se forma el coating.</p>	
<p>El coating puede ser más delgado conforme el volumen de la escoria es reducido.</p>	
<p>La escoria permanece fluida para un vertido más fácil.</p>	
<p>La tapa debe estar el mayor tiempo posible.</p>	

<p>Las tapas y las paredes son útiles para retener el calor hasta después del vertido.</p>	
<p>Una vez que la tapa es retirada inicia el enfriamiento</p>	
<p>El enfriamiento causa choque térmico y pérdidas de espesor en ladrillos</p>	
<p>El coating (protección) en la cuchara ayuda a aislar las paredes durante el enfriamiento.</p>	
<p>El piso permanece caliente y no sufre tanto como la línea de escoria.</p>	

## CUCHARAS CON UN BUEN COATING (Protección de refractario en cucharas)

En la siguiente grafica se muestra una cuchara con buena protección de ladrillo refractario

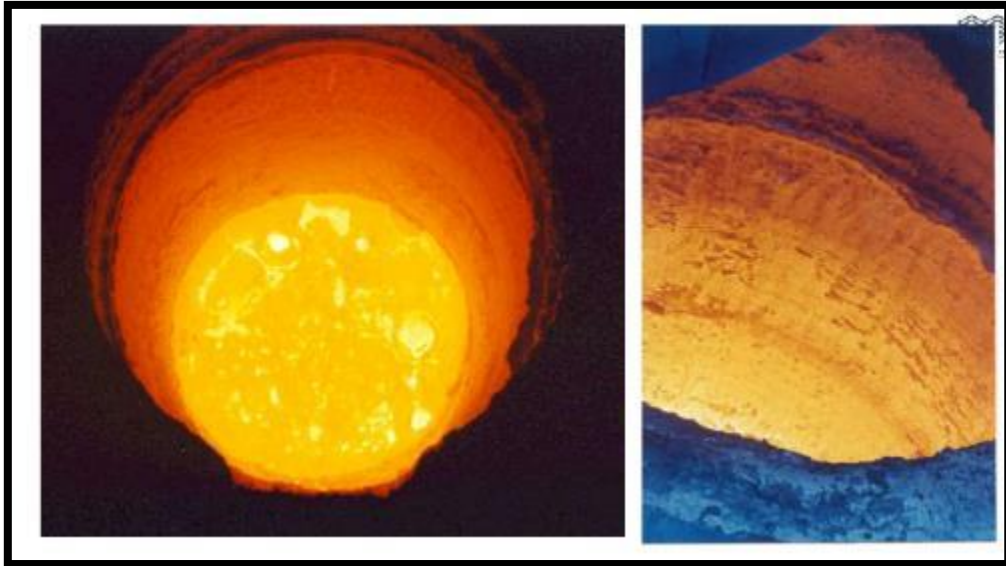


Figura 36. Coating en cucharas

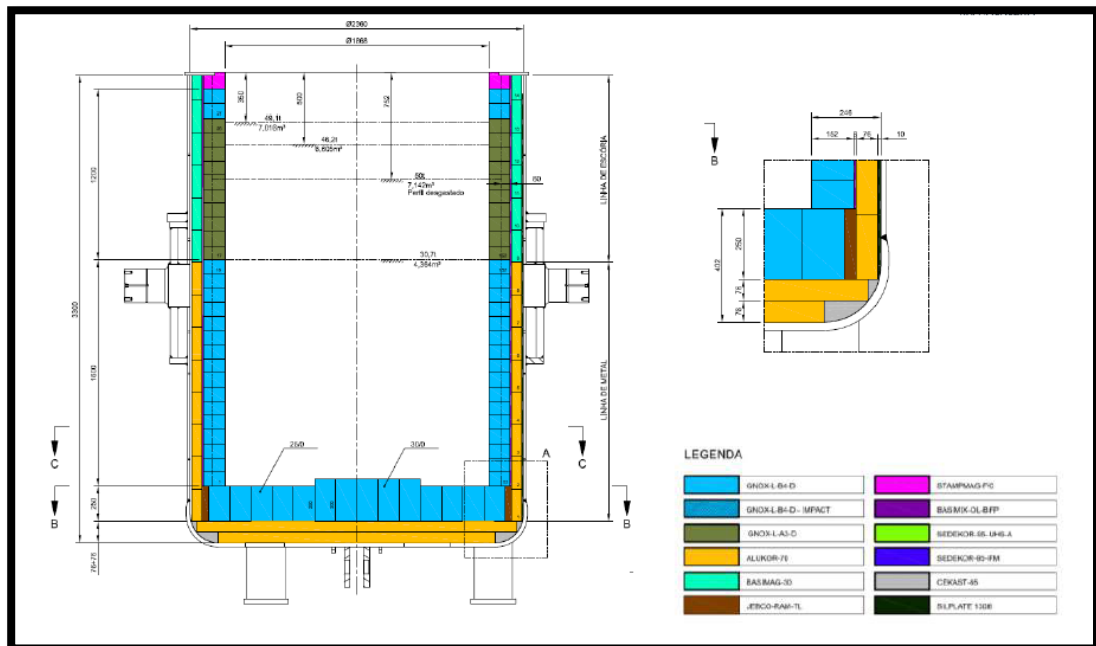
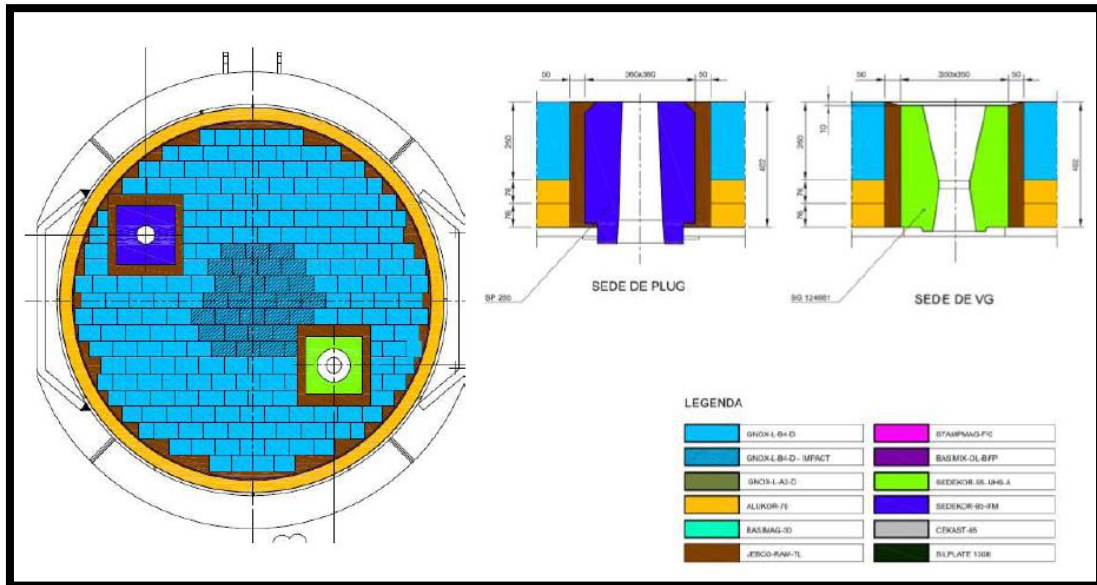


Figura 37. Diseño de un revestimiento de cuchara vista de alzado



**Figura 38.** Diseño de un revestimiento de cuchara vista de planta

## CHECK LIST DE PREPARACIÓN DE CUCHARA

Se propone la elaboración de un check list para la preparación de cuchara.

**Tabla 58:** Tabla de check list de preparación de cuchara

CHECK LIST PREPARACION DE CUCHARA			
Nombre:	Turno	Fecha	
Ítem	Estado	Comentario	
<b>Orden / Limpieza y Otros</b>			
cono interno (mínimo: 6 uni)	Si	No	
cono externo (minino: 10 uni)	Si	No	
placas (mínimo: 12 uni)	Si	No	
Subtapon (mínimo: 2 uni)	Si	No	
Tapón primario (mínimo: 3 uni)	Si	No	

Tapón secundario (mínimo: 5 uni)	Si	No			
Gaxeta (mínimo: 5 uni)	Si	No			
Fundas llenas de arena (mínimo: 10 uni)	Si	No			
<b>Materiales</b>					
<b>Material en Planche y Tolvas</b>					
Risablock (mínimo: 500 kg)	Si	No			
Ruvimit VK3 (mínimo: 250 kg)	Si	No			
Cerabond 75 VL (mínimo: 14 kg)	Si	No			
Arkor 90 Vg (mínimo: 14kg)	Si	No			
<b>Estado de Equipos</b>					
Bloque de válvula gaveta reparada	Si	No	cuchara #		# coladas
Bloque de válvula gaveta reparada	Si	No	cuchara #		# coladas
Bloque de válvula gaveta reparada	Si	No	cuchara #		# coladas
Bloque de válvula gaveta reparada	Si	No	cuchara #		# coladas
Bloque de sig reparada	Si	No	cuchara #		# coladas
Bloque de sig reparada	Si	No	cuchara #		# coladas
Bloque de sig reparada	Si	No	cuchara #		# coladas
Bloque de sig reparada	Si	No	cuchara #		# coladas
<b>¿Problemas de mantenimiento?</b>					
Entrego Conforme			Recibo Conforme		

--	--

Este documento debe ser llenado por el operador que ingresa a turno mañana y debe ser hecho conjunto con operador que sale de turno nocturno, no debe tomar más de 5 minutos (Operadores líder de turno)

### **Control de curva de calentamiento de cucharas**

Se propone utilizar el control de curva de calentamiento de cucharas para mantenerlas en la condición óptimas operacionales, la tabla de control de curva de calentamiento de cucharas permitirá que las cucharas en cada vaciado mantengan informado al operador de cucharas y al operador de cabina del horno de arco eléctrico realizar la temperatura de vaciado correcta.

Se propuso realizar un protocolo de estandarización de temperatura de vaciado como se muestra en la tabla 59 y la tabla 60 para mantener en condiciones óptimas operacionales durante el proceso de producción con el fin de reducir el kwh/ton utilizado en la operación del horno cuchara.

## ESTANDARIZACIÓN DE TEMPERATURA DE VACIADO DEL EAF (HORNO DE ARCO ELÉCTRICO)

**Tabla 59.** Estandarización de temperatura de vaciado del EAF

Tipo de acero	Tipo de cuchara	Temperatura en °C
Bajo Carbono	Dolomítica	1630 a 1640
	Nueva	
	Dolomítica en proceso	1610-1620
Medio Carbono	Dolomítica nueva	1680
	Dolomítica en proceso	1650-1660

Elaborado por autor

Se muestra en la tabla 59, la estandarización de la temperatura de vaciado lo cual garantizó la temperatura de vaciado correcta del horno de arco eléctrico (EAF) esto permitió minimizar el uso de energía eléctrica, un mayor consumo de energía eléctrica en el horno cuchara también ocasiona desgaste del refractario por un mayor uso de energía eléctrica.

**ESTANDARIZACIÓN DE TEMPERATURA DE SUBIDA DEL LF (HORNO CUCHARA) A CCM (MAQUINA DE COLADA CONTINUA)**

**Tabla 60.** Tabla de estandarización de temperatura de subida del LF a CCM

Tipo de acero	Tipo de cuchara	Temperatura en °C
Bajo Carbono	Dolomítica	1630-1640
	Nueva	
	Dolomítica en proceso	1620-1630
Medio Carbono	Dolomítica nueva	1615
	Dolomítica en proceso	1590-1605

Elaborado por autor

La temperatura de subida al siguiente proceso que es la máquina de colada continua, es muy importante realizar el ajuste de temperatura desde el horno cuchara por motivos que si esta temperatura no se cumple ocurriría perforaciones de línea como se puede apreciar en la figura 39 provocará romboides altas en líneas como se puede apreciar en la figura 40.





**Figura 39.** Palanquilla con perforación por temperatura inadecuada



**Figura 40.** Palanquilla con romboides alta por temperatura inadecuada

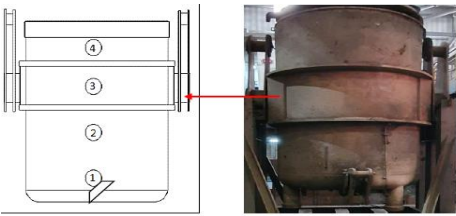
Se obtuvo la optimización de costos en el área de fundición, a través de las buenas prácticas operacionales en el vaciado del EAF y la operación del LF; la reducción de consumo de energía que se pretende alcanzar en un rango desde los 5 a 10 kW/ton por colada, lo que genera un ahorro de 200 kW/ton durante un día de producción de 24 horas en el cual se produce un promedio 25 coladas, en tiempo de minutos de reducción se encuentra en un promedio aproximado de 5 minutos de power on

## CONTROL DE CURVA DE CALENTAMIENTO DE CUCHARAS

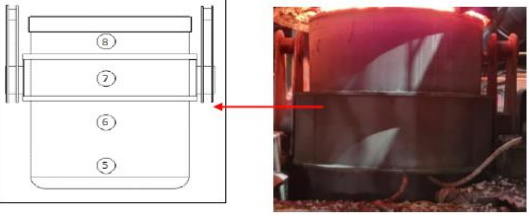
**Figura 41.** Control de curva de calentamiento de cuchara

		CONTROL DE CURVA DE CALENTAMIENTO DE CUCHARAS								
		# Cuchara		# Coladas		Calentador	V1	V2	H1	
Rev. 01- ( 22-07-2020)		V1:	Posición Carro Cuchara	V2:	Área Cucharas	H1:	Horizontal			
Fecha:										
Responsable										
Comentario previo al Calentamiento:										
N°	Hora real	Temperatura [°C]								
		Quemador	1	2	3	4	5	6	7	8
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
<b>Observaciones:</b>										
<b>IMPORTANTE:</b>		1.	En caso de tener un valor de temperatura mayor a 360 °C, sacar la cuchara del calentador , realizar la inspección, si se tiene escoria derretida al fondo. Solicitar apoyo de mantenimiento eléctrico para bajar la potencia del calentador.							
		2.	En caso de novedades en el calentamiento de cucharas por tema eléctrico, comunicarse con Dilan Hidalgo (0996457339).							
		3.	Realizar la inspección de todas las tomas que tiene relación con la limpieza y operación de cucharas: Nitrógeno, Oxígeno, GLP							
		4.	Verificar válvula de paso de la entrada de Nitrógeno en el área de limpieza, se encuentre cerrada.							

**PUNTOS DE MEDICIÓN**



Lado de gancho para escorpión



Lado derecho

### 5.1.2 DIAGRAMA DEL FLUJO DE OPERACIONES PROPUESTO

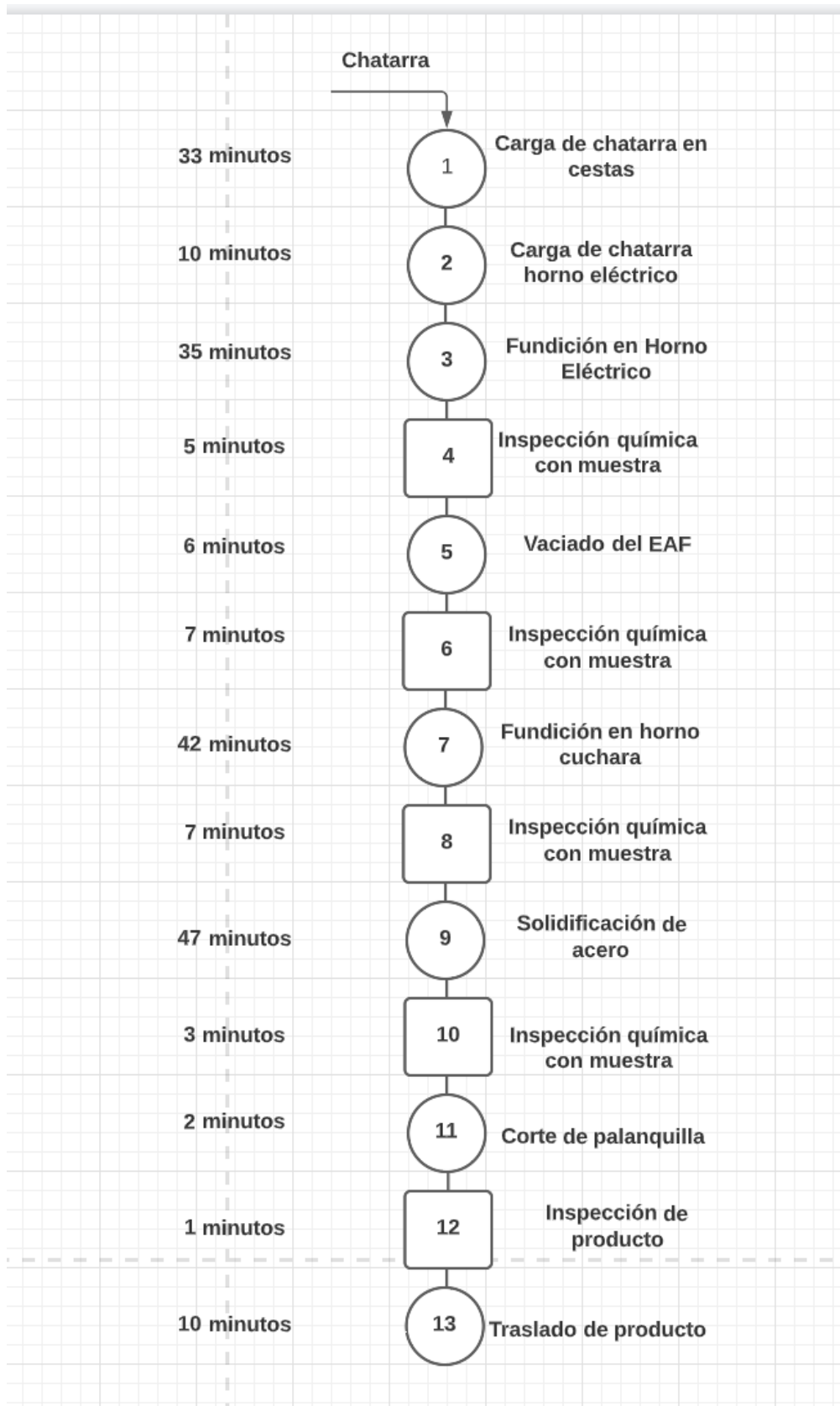
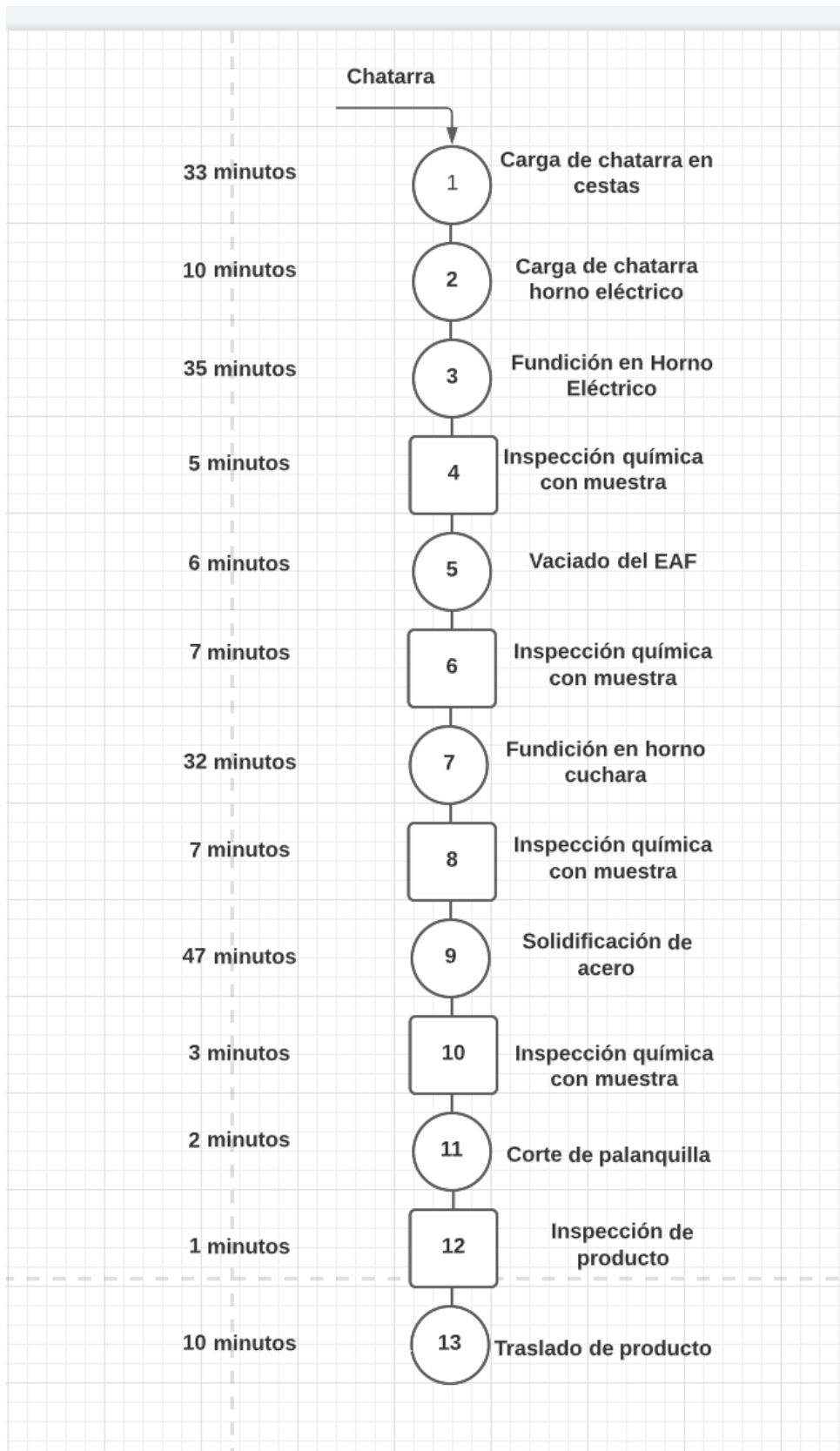


Figura 42. Diagrama de flujo de operaciones actual



**Figura 43.** Diagrama de flujo de operaciones propuesto

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ACTUAL					
FABRICACIÓN DE ACERO					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL: X	MÉTODO PROPUESTO:			FECHA: MAYO 2022
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
<b>CANTIDAD TOTAL</b>	21	4	1	0	4
<b>TIEMPO TOTAL</b>	174	18	5	0	11
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACION		
Cálculo del mix de chatarra	● → ▽ D □	2			
Selección de chatarra	● → ▽ D □	1			
Carga de chatarra en cestas	● → ▽ D □	30			
Traslado de cestas al horno de arco eléctrico	○ → ▽ D □	5			
Apertura de bóveda del horno de arco eléctrico	● → ▽ D □	3			
Carga de chatarra en el horno de arco eléctrico	● → ▽ D □	2			
Fundición de chatarra en horno de arco electrico	● → ▽ D □	25			
Ingreso de carbón de inyeccion	● → ▽ D □	10			
Muestreo de componentes químicos	○ → ▽ D ■	3			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	2			
Realizar vaciado	● → ▽ D □	6			
Trasladar cuchara desde el horno eléctrico al horno cuchara	○ → ▽ D □	2			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	2			
Preparación de escoria	● → ▽ D □	8			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	2			
Fundición de acero en horno cuchara	● → ▽ D □	35			
Muestreo de componentes químicos	○ → ▽ D ■	5			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	2			
Trasladar cuchara desde el horno cuchara a colada continua	○ → ▽ D □	6			
Realizar giro de torreta	● → ▽ D □	1			
Realizar apertura de cuchara mediante válvula gaveta	● → ▽ D □	1			
Llenado de acero en el distribuidor	● → ▽ D □	4			
Apertura de líneas de producción de colada continua	● → ▽ D □	10			
Solidificación de acero	● → ▽ D □	25			
Muestreo de componentes químicos	○ → ▽ D ■	2			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ D □	1			
Corte de palanquillas	● → ▽ D □	2			
Inspección de palanquillas	○ → ▽ D ■	1			
Traslado de palanquillas	○ → ▽ D □	5			
Almacenamiento de palanquillas	○ → ▽ D □	5			

Figura 44. Diagrama de flujo de proceso actual

### 5.1.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PROPUESTO

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PROPUESTO					
FABRICACIÓN DE ACERO					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL:	MÉTODO PROPUESTO: X			FECHA: MAYO 2022
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
CANTIDAD TOTAL	21	4	1	0	4
TIEMPO TOTAL	164	18	5	0	11
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	TIEMPO (MIN)	OBSERVACION		
Cálculo del mix de chatarra	● → ▽ □	2			
Selección de chatarra	● → ▽ □	1			
Carga de chatarra en cestas	● → ▽ □	30			
Traslado de cestas al horno de arco eléctrico	○ → ▽ □	5			
Apertura de bóveda del horno de arco eléctrico	● → ▽ □	3			
Carga de chatarra en el horno de arco eléctrico	● → ▽ □	2			
Fundición de chatarra en horno de arco eléctrico	● → ▽ □	25			
Ingreso de carbón de inyección	● → ▽ □	10			
Muestreo de componentes químicos	○ → ▽ □ ■	3			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ □	2			
Realizar vaciado	● → ▽ □	6			
Trasladar cuchara desde el horno eléctrico al horno cuchara	○ → ▽ □	2			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ □	2			
Preparación de escoria	● → ▽ □	8			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ □	2			
Fundición de acero en horno cuchara	● → ▽ □	25			
Muestreo de componentes químicos	○ → ▽ □ ■	5			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ □	2			
Trasladar cuchara desde el horno cuchara a colada continua	○ → ▽ □	6			
Realizar giro de torreta	● → ▽ □	1			
Realizar apertura de cuchara mediante válvula gaveta	● → ▽ □	1			
Llenado de acero en el distribuidor	● → ▽ □	4			
Apertura de líneas de producción de colada continua	● → ▽ □	10			
Solidificación de acero	● → ▽ □	25			
Muestreo de componentes químicos	○ → ▽ □ ■	2			
Medición de temperatura de acero	● → ▽ □	1			
Corte de palanquillas	● → ▽ □	2			
Inspección de palanquillas	○ → ▽ □ ■	1			
Traslado de palanquillas	○ → ▽ □	5			
Almacenamiento de palanquillas	○ → ▽ □	5			

Figura 45. Diagrama de flujo de proceso propuesto

De acuerdo al objetivo planteado de proponer un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y los procesos estudiados que permitan disminuir los costos mediante un estudio de tiempos en la producción del área de fundición. Se realizó la propuesta de un diagrama de flujo de operaciones y diagrama de flujo de proceso actualizado integrando los resultados de las variables de estudio obtenidas de esta investigación, mejorando en un promedio de 10 minutos de ahorro producción enfocando estos minutos en el proceso de fundición de acero en el horno cuchara, cada minuto de parada de producción se encuentra valorado en \$100, esto benefició la productividad en los turnos de operación.

## **5.2. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS EN LA MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO**

En esta sección del capítulo se presentan los costos de las principales materias primas utilizadas en el proceso para determinar los ahorros por la reducción en el consumo de refractarios y mezclas de materias primas (cal cálcica y cal dolomítica) y nuevamente establecer un período de estudio comparativo entre ambos de lo establecido en la actualidad con lo propuesto en la investigación. Se realizó la comparación de costos de las principales materias primas utilizadas durante el proceso del horno de arco eléctrico (HEA) como se logra apreciar en la Tabla 61.

**Tabla 61.** Tabla de comparación de costo actual y costo propuesto de cal cálcica y cal dolomítica en medio actual y bajo carbono.

Materia Prima	Costo actual	Costo propuesto	Diferencia	Unidad de medida
Cal Cálcica y cal dolomítica medio carbono	6.61	10.33	3.72	\$/ton
Cal Cálcica y cal dolomítica bajo carbono	5.48	11.17	5.69	\$/ton

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

Elaborado por autor

En la tabla 61 se puede evidenciar que el insumo de cal cálcica y cal dolomítica aumenta un valor significativo en el costo el invertido para la mejora de la basicidad y saturación del MgO con el fin de mantener el ladrillo refractario en buenas condiciones, de acuerdo a las recomendaciones de los resultados obtenidos se realizó la inversión con el fin de reducir las paradas de producción por desgaste de ladrillo y aumentar el tiempo de vida útil del ladrillo dentro el horno de arco eléctrico y la disponibilidad de planta de fundición

**Tabla 62.** Tabla de ahorro de energía eléctrica con procedimientos de vaciado para aceros de medio y bajo carbono.

Vaciado de Acero líquido del horno de arco	Ahorro de consumo por colada	Cantidad de coladas realizadas al mes	Consumo*Coladas ahorrados	Tarifa de kwh	Ahorro en consumo de energía
--	------------------------------	---------------------------------------	---------------------------	---------------	------------------------------



---

eléctrico	eléctrica
-----------	-----------

---

Acero de					
medio y					
bajo	1200 kwh	450	540.000 kwh	\$0.10	\$54.000
carbono					

---

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

En la tabla 62 se puede evidenciar que existe una disminución importante en el consumo de energía eléctrica en el horno cuchara, él es cual uno de los objetivos de esta investigación del proyecto; al disminuir el consumo de energía implicó que los tiempos de afino en el horno de arco eléctrico sean menores (power on) y la productividad aumente. En la empresa se realizan alrededor de 450 coladas a lo largo de un mes y se obtienen aproximadamente 30000 ton de acero motivo por lo tanto el ahorro de energía por tonelada es de gran importancia. Se obtuvo \$54.000 en ahorros de energía eléctrica mensual por mantener buenas prácticas de vaciado entre el horno eléctrico y el horno cuchara

**Tabla 63.** Comparación de costos desoxidantes para acero de medio carbono SAE 1026

	Tonelada			Toneladas	Toneladas
Ítem	de Carburo	Tonelada de	Diferencia	consumidas de	consumidas de
	de silicio	ferrosilicio		ferrosilicio sin	ferrosilicio
				correcta	con correcta
				practica	practica
				operacional	operacional

---

Acero de					
medio					
carbono	\$1100	\$1800	700	18	6
SAE					
1026					

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

En la tabla 63 se aprecia la comparación entre el uso del ferrosilicio y el carburo de silicio; se verificó que el carburo de silicio tiene un precio menor con respecto al ferrosilicio. En el uso de carburo de silicio se obtuvo un rendimiento adecuado para la desoxidación del acero y el ajuste de la composición química para la producción de acero de medio carbono para SAE 1026, Se obtendrá \$21.600 en ahorros mensual por mantener correctas prácticas de vaciado en el horno de arco eléctrico hacia el horno cuchara.

**Tabla 64.** Tabla de ahorro de costos en dólares por toneladas por tipo de cuchara.

Tipo de cuchara	Costo de cuchara	Cantidad de campañas que se realizan al mes	Ahorro en costo	Tonelaje de acero	Dólares por tonelada
Básica	\$26523.56	6	\$156141.36	30000	5.2047
Dolomítica	\$12385.15	3	\$37155.45	30000	1.2385
			Diferencia		3.9662

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

Elaborado por autor

En la tabla 64, se observa que se obtuvo un ahorro en costo de \$3.97/ton de acero producido, se obtuvo un ahorro mensual de \$119.110 mensual en el área de fundición de acuerdo a la producción de 30.000 toneladas de acero por realizar el cambio de cuchara básica hacia cuchara dolomítica.

**Tabla 65.** Ítems de uso para el mantenimiento de refractario en el horno de arco eléctrico

CONSUMO MATERIAL REFRACTARIO EN REPARACION TOTAL DEL HORNO DE ARCO							
ELECTRICO							
ITEM	Texto breve del material	Cantidad	Unidad	KG/U	KG TOTAL	\$/U	\$ TOTAL
1	GMAG-EAF-F1-D 35/0	800	UN	16,35	13080,0	49,03	39224,8
2	GMAG-EAF-F1-D 35/20	700	UN	16,35	11445,0	51,79	36253,7
3	GMAG-EAF-F1-D 35/40	600	UN	16,35	9810,0	46,42	27854,3
4	GMAG-EAF-F1-D 35/80	270	UN	16,35	4414,5	43,50	11745,3
5	GMAG-EAF-F1-D V2LS-100		UN	34,9	0,0	82,90	0,0
6	ANKERHARTH NN55-BR	24000	KG	1	24000,0	0,99	23714,6
7	SUPERMAG EZG- 8/350X150X100		UN	16,35	0,0	33,15	0,0

	STRAIGHT 35/0						
	SUPERMAG EZG-						
8	8/350X160/140X10		UN	16,35	0,0	33,86	0,0
	0 CRO 35/20						
	SUPERMAG EZG-						
9	8/350X170/130X10		UN	16,35	0,0	35,54	0,0
	0 CRO 35/40						
	SUPERMAG EZG-						
10	8/350X190/110X10		UN	16,35	0,0	34,75	0,0
	0 CRO 35/80						
11	RAMAG 70 FRIT.		KG	1,00	0,0	1,64	0,0
	STAMPMAG-						
12	FC/RUBINIT VK3	4500	KG	1	4500,0	0,97	4378,9
	BASIMAG-30 PA						
13	229X114X76	240	UN	5,5	1320,0	8,46	2030,2
	BASIMAG-QI						
14	CC101	7	UN	54,12	378,8	160,04	1120,3
	DOLOGRAN-GA-						
15	SR-2		KG	1,00	0,0	1,34	0,0
	GRAFIMAG INT-						
16	11-02 ISO25/0		UN	11,90	0,0	37,24	0,0
	GRAFIMAG INT-						
17	11-02 ISO25/20		UN	11,9	0,0	37,29	0,0
	GRAFIMAG INT-						
18	11-02 ISO35/20		UN	16,35	0,0		

19	GRAFIMAG FE HS A1ISO35/80		UN	16,35	0,0	45,30	0,0
20	BASIMAG-30 A1 229X76X76-70	500	UN	3,772	1886,0	6,00	2999,7
21	BASIMAG-30 PA 229X76X76	500	UN	3,929	1964,5	4,90	2450,1
22	GMAG-EAF-F3-D 45/0		UN	20,99 3	0,0	34,72	0,0
23	GMAG-EAF-F3-D BS 111258		UN	1259, 55	0,0	4684,04	0,0
24	GMAG-EBT CC95	1	UN	71,88 5	71,9	182,46	182,5
25	GMAG-EBT CC98	5	KG	33,77 8	168,9	112,40	562,0
26	GUNMAG-LE		UN	1	0,0	1,14	0,0
27	BASIMAG-30 A1 229X114X76-70		UN	5,64	0,0	8,36	0,0

---

**SUBTOTAL**

73039,62

\$152516,37

---

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

**Elaborado por:** Jorge Solorzano

**Tabla 66.** Tabla de comparación de costo actual vs costo propuesto para el mantenimiento de ladrillo refractario del horno de arco eléctrico.

Materia Prima	Costo actual de insumos de	Costo propuesto de insumos de	Unidad de medida
---------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------

---

	refractarios utilizado cada mes	refractarios utilizado cada mes	
Reparación de refractario del horno de arco eléctrico	152516.37	50838.79	\$

**Fuente:** Información obtenida por el área de producción

Elaborado por autor

El costo de refractario se encuentra elevado a causa de no mantener las correctas prácticas para el control de basicidad y la saturación del MgO de la escoria, como se puede apreciar en la tabla 66, sin embargo, se puede alargar la vida útil del refractarios con los procedimientos adecuados. Los métodos propuestos se plantean realizar el mantenimiento total del refractario cada 3 meses invirtiendo la misma cantidad de materiales. Se obtuvo \$101.677 en ahorros de refractarios por mantener buenas prácticas de control de basicidad y generación de escoria espumosa.

**Tabla 67.** Tabla de comparación de flujo de proceso actual vs el propuesto

Flujo de Proceso Actual	Flujo de Proceso Propuesto	Diferencia
174 minutos	164 minutos	10 minutos

De acuerdo al flujo de operaciones propuesto integrando todas las variables de proceso de estudio se logró realizar la disminución de 10 minutos de power off (tiempo de apagado del horno de arco eléctrico) aplicando las metodologías propuestas en esta investigación. Estos 10 minutos serán reflejados en la reducción de tiempo de cada colada de operación del proceso productivo de la acería.

## CONCLUSIONES

La empresa de estudio dedicada a la fabricación de productos derivados de acero, debe procurar mejorar su nivel de eficiencia para destacar en el mercado de competidores, y enfocarse en la mejora continua de sus procesos, los cuales son el valor agregado de la institución. En esta investigación se fundamentó de manera teórica un análisis de la eficiencia del proceso productivo de elaboración de acero de medio y bajo carbono, con los estudios de datos efectuados y mediante la verificación de hipótesis obteniendo el P-valor ( $\text{Sig}=0,000$ )  $< \alpha=0,005$  se procede a rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, se realizó la valoración de la información mediante un análisis de experto en donde el coeficiente de promedio del índice de validez de contenido es de 0.829 justificando la correcta validación de la información utilizada, se utilizó el coeficiente de alfa de Cronbach para comprobar los resultados obtenidos de las variables independientes analizadas, este coeficiente se encuentra en 0.97 por lo tanto existe suficiente evidencia estadística que permite afirmar la fundamentación de un análisis del proceso productivo beneficiará la eficiencia en la elaboración de acero de medio y bajo carbono.

- De acuerdo al primer objetivo específico, se revisó el procedimiento que genera escoria espumosa, utilizada en el control del desgaste del ladrillo refractario que recubre el horno de arco eléctrico, se comprobó que existe una correlación importante entre la variable de basicidad y costo de refractario del horno de arco eléctrico, teniendo en consideración los análisis de datos efectuados y de acuerdo a los resultados obtenidos se rechazó la hipótesis nula, se concluye que mientras mayor sea la basicidad inadecuada en el horno de arco eléctrico se obtendrá un mayor desgaste prematuro del ladrillo refractario, el nivel de logro del resultado, demostró mediante datos estadísticos y un adecuado procedimiento permitió obtener una basicidad adecuada que reduce el desgaste de

refractario, esto permitió estandarizar los costos de materiales refractarios utilizados.

- De acuerdo al segundo objetivo específico, se analizó el proceso de desoxidación de acero de medio y bajo carbono que permitan disminuir los altos costos de insumos de desoxidantes en el área de fundición, se comprobó mediante el estudio de datos efectuado y se logró evidenciar que entre las variables de consumo y costos existe una correlación positiva, el coeficiente de correlación de Spearman se encuentra en 0.903, por lo tanto se rechazó la hipótesis nula, se concluye que este análisis permitió obtener un adecuado protocolo del proceso en desoxidación de acero de medio y bajo carbono, el nivel de logro del resultado fue obtener la disminución de costos y establecer un correcto consumo de los insumos a utilizar.
- De acuerdo al tercer objetivo específico, se identificó las correctas técnicas operacionales en el proceso de afino del horno cuchara en los diferentes tipos de fabricación de acero de medio y bajo carbono para reducir el elevado consumo de energía eléctrica, enfocándonos en el acero de medio carbono SAE 1026, con los análisis de datos efectuados y la aplicación de la metodología de Gasik se comprobó que existe una significativa correlación muy fuerte entre las variables de temperatura de vaciado y energía eléctrica dado que el coeficiente de correlación de Spearman se encuentra 0,926 por lo tanto, se concluye que este análisis permitió obtener una adecuado protocolo para el control del proceso en la operación del horno cuchara.
- De acuerdo al cuarto objetivo específico, se propuso un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y los procesos estudiados,



teniendo en consideración los análisis de datos efectuados y de acuerdo a los resultados obtenidos, existe un nivel alto de correlación entre la variables de power off y los números de estudios de minutos en el proceso, por lo tanto se rechazó la hipótesis nula, se demostró mediante datos estadísticos de un sistema de mejoramiento continuo que integre las variables y procesos estudiados permitió disminuir los costos mediante un estudio de tiempos, el logro de la aplicación de esta investigación permitió reducir 10 minutos de operación en el flujo de proceso del área de producción.

## RECOMENDACIONES

- Las recomendaciones estarán desarrolladas en base a las conclusiones establecidas anteriormente, las mismas se espera que sean tomadas en consideración para una mejora continua.
- Es recomendable determinar la cantidad de oxígeno necesaria para utilizar en la fundición del acero y el afino en el horno de arco eléctrico, con el fin de conocer la cantidad de oxígeno utilizados para el corte de chatarra cuando este funciona como quemador y la cantidad de oxígeno cuando funciona como lanza para la oxidación del acero.
- Se recomienda realizar la ejecución de los procedimientos en la basicidad cada 5 coladas con el fin de garantizar el cuidado óptimo del refractario del EAF.
- Es necesario realizar un plan de capacitación a los empleados de los nuevos lineamientos a seguir en el proceso productivo y su impacto en las utilidades de ellos donde no se lleve un control de lo establecido.
- Se recomienda solicitar al área de chatarra la entrega de materia prima con menor contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) con el fin reducir el desgaste del ladrillo refractario del horno eléctrico.
- Se recomienda realizar la revisión de insumos sustitutos para los demás materiales que intervienen en la producción de acero de la fundidora.
- Es recomendable realizar la revisión de tiempos entre colada continua y el horno de arco eléctrico, con el objetivo de impedir que el horno de arco eléctrico se encuentre detenido en la etapa de afino.
- Después de realizar cada análisis de muestra de escoria se debe revisar el contenido de óxido de hierro atrapado en la escoria y si se encuentra muy alto, se está perdiendo rendimiento de acero líquido en la escoria del horno eléctrico, es

muy importante realizar el ingreso de carbón de inyección directo al baño en la etapa de afino del horno de arco eléctrico para evitar la pérdida de óxido de hierro (FeO).

## ANEXOS

TABLA DE DESOXIDANTES UTILIZADOS		
NOMENCLATURA	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
CaC <sub>2</sub>	<b>Carburo de calcio</b>	Es una sustancia sólida que por lo general posee color grisáceo que reacciona exotérmicamente con el fluido entre ellos el agua para dar hidróxido de calcio, cal apagada o hidratada y acetileno. Este tipo de carburo tiene una amplia gama de usos, se puede vender en almacenes industriales para soldadura autógena, y también se puede utilizar en industrias como las siderúrgicas como material para reducir el nivel de oxidación en el acero.
SiC	<b>Carburo de silicio</b>	Fue descubierto por Edward Goodrich Acheson, es también llamado carborundo, posee una estructura en forma de diamante, a pesar del diferente tamaño del Carbono (C) y Silicio (Si) que podría impedir la misma. En parte debido a su estructura cristalina, posee propiedad de dureza alta como el diamante, alcanzando un índice de dureza de Mohs de 9 a 9,5. Este es un material semiconductor y refractario que tiene muchas ventajas y se puede utilizar en equipos que implican

		<p>trabajar en condiciones extremas de, frecuencia, voltaje y temperatura.</p> <p>Desde 2000, la producción de carburo cementado de China ha aumentado de 7.000 toneladas (2001) a 20.000 toneladas (2011).(García et al., 2019)</p>
<b>Al</b>	<b>Aluminio</b>	<p>Es uno de los elementos químicos más comunes en la corteza terrestre, solo superado por el silicio y el oxígeno, y su símbolo en la tabla periódica es Al. Los compuestos de aluminio representan el 8% de la corteza terrestre y se encuentran en la mayoría de las rocas, la vegetación y los animales. Como metal, solo se puede extraer de minerales llamados bauxita, primero convertidos en alúmina por el proceso Bayer y luego convertidos en aluminio metálico por electrólisis. El aluminio se utiliza como elemento desoxidante en la industria del acero porque tiene una alta afinidad por el oxígeno, razón por la cual el aluminio puede eliminar eficazmente algunas partes por millón de oxígeno y la oxidación causada por la fusión del arco.(Villatoro Villatoro, 2018).</p>

**TABLA DE ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE ACEROS FABRICADOS EN LA EMPRESA DE ESTUDIO DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS DEL ÁREA DE LAMINACIÓN**

PRODUCTO	GRADO	Rango	%C	%Mn	%Si	%P	%S	Mn/S	B(ppm)	%V	C.E.	N (ppm)	%Cu	%Cr	%Ni	%Mo	%Sn	%W	Σ (Cr+Cu+Ni+Mo)		
Alambrón	SAE 1005B	Min		0,30				17	60												
		Max	0,06	0,35	0,15	0,030	0,020			80			90	0,20	0,25	0,45	0,30	0,030	0,060	0,40	
	SAE 1006B	Min		0,30					15	60											
		Max	0,06	0,40	0,15	0,030	0,030			80			90	0,20	0,25	0,45	0,30	0,030	0,060	0,40	
	SAE 1008	Min		0,40					15												
		Max	0,08	0,45	0,15	0,030	0,030						100	0,30	0,20	0,45	0,30	0,030	0,060	0,50	
	SAE 1010	Min	0,08	0,40	0,10				15												
		Max	0,12	0,50	0,15	0,030	0,030						100	0,30	0,20	0,25	0,30	0,030	0,060	0,50	
	SAE 1022	Min	0,19	0,75	0,10				20												
		Max	0,21	0,85	0,15	0,030	0,025					0,38	90	0,20	0,15	0,25	0,30	0,030	0,060	0,50	
	Perfiles	SAE 1015	Min	0,12	0,30																
			Max	0,16	0,60	0,25	0,030	0,045						120	0,50	0,25	0,20	0,30	0,060	0,060	0,80
Varilla Rollo	SAE 1026V	Min	0,22	1,10	0,15						0,025										
		Max	0,30	1,20	0,35	0,35	0,035				0,030	0,55	122	0,50	0,22	0,20	0,35	0,060	0,060	0,80	
Varilla Recta	SAE 1026	Min	0,22	0,25	0,10																
		Max	0,30	0,45	0,35	0,35	0,045					0,55	120	0,50	0,25	0,20	0,35	0,060	0,080	0,80	

## FORMATO DE TABLA DE VALIDACIÓN DE ANÁLISIS DE EXPERTOS

ASPECTOS DE VALIDACION						
INDICADOR	CRITERIOS	Deficiente	Regular	Bueno	Muy bueno	Excelente
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conducta observable					
ACTUALIDAD	Es adecuado al avance de la ciencia y tecnología					
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad					
CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos acordes a la tecnología educativa					
COHERENCIA	Existe relación entre las dimensiones e indicadores					
METODOLOGIA	Responde al propósito del trabajo considerando los objetivos planteados					
PERTINENCIA	El instrumento es adecuado al tipo de investigación					
PROMEDIO DE VALIDACIÓN						

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez González, C. (1996). Comportamiento mecánico en caliente de refractarios de magnesita-grafito. In *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.
- Berna Tamayo, J. A. (2001). *OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION DE ACERO LIQUIDO EN HORNOS ELECTRICOS DE ARCO* (p. 80).
- Cicutti, C. (1997). Transferencia de calor en la colada continua de aceros. I parte. El molde. *Revista de Metalurgia*, 33(5), 333–344.  
<https://doi.org/10.3989/revmetalm.1997.v33.i5.846>
- Crafts, W., & Hilty, D. C. (n.d.). *Deoxidation and Inclusion Control for Alloy Steel*.
- García, J., Collado Ciprés, V., Blomqvist, A., & Kaplan, B. (2019). Cemented carbide microstructures: a review. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 80(December 2018), 40–68.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2018.12.004>
- Goro, Y., Yajima, T., Ukai, A., & Masatoshi, O. (2015). *Refining Process Practice in Japan and Application of the Ladle Furnace (LF) Process in Japan*. 412, 412–418.
- Husain-Talero, S. (2018). Análisis de los costos de producción y la cadena de valor de las plantas tradicionales que cultivan los campesinos de Cundinamarca, Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 15(82), 1–18.
- Kathait, D. S. (2016). *Heat loss in Ladle furnace Dashrath Singh Kathait*. 1627–1631.
- Lozada Cardenas, A. M., & Huertas Ferrer, J. A. (2019). *PROPUESTA DE MEJORA EN LA FORMACIÓN DE LA ESCORIA ESPUMOSA EN EL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO PARA LA DISMINUCIÓN EN LOS TIEMPOS DE AFINO Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA*.  
Fundacion Universidad de America.
- Luz, A. P., Ávila, T. A., Bonadia, P., & Pandolfelli, V. C. (2011). *Slag Foaming : Fundamentals , Experimental Evaluation and Application in the Steelmaking Industry*. 3(2), 1–8.
- Madías, J. (2011). Evolución reciente en la colada continua de planchones delgados y laminación. *Actualizacion Tecnologica*, 1, 42–50.



- Mateos Carmona, J. (2010). *ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE COSTES EN UNA PLANTA DE PROCESADO Y PRODUCCIÓN DE ACERO*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Ortega Otero, A. (2018). Enfoques De Investigación. *Universidad Del Atlantico, August*, 3–5.  
[https://www.researchgate.net/publication/326905435%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Alfredo-Otero-Ortega/publication/326905435\\_ENFOQUES\\_DE\\_INVESTIGACION/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION.pdf](https://www.researchgate.net/publication/326905435%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Alfredo-Otero-Ortega/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION.pdf)
- Polo Garcia, B. E. (2013). *Contabilidad de Costos en la Alta Gerencia* (Primera Ed). GRUPO EDITORIAL NUEVA LEGISLACION LTDA.
- Ramos Galarza, C. (2020). LOS ALCANCES DE UNA INVESTIGACIÓN. *CienciAmérica*, 9(3), 1–5.
- Rivera Poma, J. M., Ortega Pernia, E., & Pereyra Quiroz, J. (2014). Diseño e implementación del sistema MRP en las pymes. *Industrial Data*, 17(2), 48–55. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i2.12047>
- Sánchez Sánchez, R. (2021). El tema de validez de contenido en la educación y la propuesta de Hernández-Nieto. *Am. J. Phys. Educ*, 15(3).  
<http://www.lajpe.org>
- Sans, A., & Atenea Alonso Serrano, Lorena García Sanz, Irene León Rodrigo, Elisa García Gordo, Belén Gil Álvaro, L. R. B. (2012). Métodos de investigación de enfoque experimental. *Metodología de La Investigación Educativa*, 167–193.  
<http://www.postgradoune.edu.pe/documentos/Experimental.pdf>
- Silva, V. L. F. Da, Leitão, L. D. S., Santos, E. D. A., Silva, A. C. S. A. Da, & Costa Silva, A. L. V. D. E. (2019). Evaluating slag-metal deoxidation equilibrium in secondary steelmaking. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(4), 3453–3458. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.012>
- Son, K., Lee, J., Hwang, H., Jeon, W., Yang, H., Sohn, I., Kim, Y., & Um, H. (2021). Slag foaming estimation in the electric arc furnace using machine learning based long short-term memory networks. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 555–568.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.085>
- Sosa Rivero, L. Á. (2019). Optimización del costo de producción en la

- elaboración del acero en Acinox Las Tunas. *Revista de Investigación En Tecnologías de La Información*, 7(14), 11–21.  
<https://doi.org/10.36825/riti.07.14.002>
- Souza, S. (2020). América Latina en cifras. *Alacero - Asociacion Latinoamericana Del Acero*, 1(1), 40.
- Svensson, J. (2018). The effect of carbonaceous iron on slag foaming. *KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY SCHOOL OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 1(1), 36.
- Vallejos Orbe, H. M., & Chiliquinga Jaramillo, M. P. (2010). *COSTOS MODALIDAD ORDENES DE PRODUCCION* (Editorial). UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE.
- Velazquez Ruvalcaba, J., Aguirre Ortiz, F., Carranza Ochoa, A., & Enoc Hdz, P. (2016). Identificación y control de variables de proceso con alto impacto en el incremento de hidrogeno contenido en el acero para la eliminación de poros y mejora de la calidad superficial en las barras producidas en tenaristamsa. *ASSOCIATION FOR IRON AND STEEL TECHNOLOGY MEXICO*, 1(2), 1–13.
- Verdeja, L. F., Sancho, J. P., & Ballester, A. (2014). *Materiales Refractarios y Cerámicos*.
- Vilcarrromero Ruiz, R. (2017). La Gestión de la Producción. *Fubdacion Universitaria Andaluza*, 1(1), 1–69.
- Villatoro Villatoro, L. A. (2018). *Análisis Del Rendimiento Del Ladrillo Refractario En Horno Cuchara Utilizando Kalister P , En Planta De Acería , Corporación Aceros De Guatemala S . a .* Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Yunus, M., Alsoufi, M. S., Yunus, M., & Asadullah, M. (2016). *Economical and Technical Way of Ladle Pre- heating by the Use of Flameless Oxyfuel ( HSD / LPG ) Gas in the Steel Industry Economical and Technical Way of Ladle Pre-heating by the Use of Flameless Oxyfuel ( HSD / LPG ) Gas in the Steel Industry*. 95(October), 40776–40781.
- Zaoui, Y., Obodo, K. O., Beldi, L., & Bouhafs, B. (2020). Effect of an interfacial oxygen monolayer on the spin-polarization at the Fe/MgO interface: First-principles calculations. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 1, 1–8.

Zimmer, A., Lima, Á. N. C., Trommer, R. M., Bragança, S. R., & Bergmann, C. P. (2008). Heat Transfer in Steelmaking Ladle. *Journal of Iron and Steel Research International*, 15(3), 11–14. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(08\)60117-X](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(08)60117-X)