



POSGRADOS

Maestría en PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-SO-41-No.689-2018

Opción de
titulación:

ARTÍCULO PROFESIONAL DE ALTO NIVEL

TEMA:

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN
MANTENIMIENTO TOTAL PRODUCTIVO, PARA HORNO
DE ARCO ELÉCTRICO DE UNA EMPRESA SIDERURGICA

AUTOR:

HENRY DANIEL NUÑEZ RIOS

DIRECTOR:

PEDRO GERARDO PEÑA MONTOYA

Guayaquil - Ecuador
2022

Autor:



HENRY DANIEL NUÑEZ RIOS

Ingeniero Mecánico

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales

Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.

hnunezr@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



PEDRO GERARDO PEÑA MONTOYA

Ingeniero Mecánico

Magíster en Administración de empresas.

Magister en Métodos matemáticos y simulación.

ppena@ups.edu.

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para los fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constituida de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación de los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana

GUAYAQUIL-ECUADOR

NUÑEZ RIOS HENRY DANIEL

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN MANTENIMIENTO TOTAL PRODUCTIVO, PARA HORNO DE ARCO ELECTRICO DE UNA EMPRESA SIDERURGICA

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN MANTENIMIENTO TOTAL
PRODUCTIVO, PARA HORNO DE ARCO ELÉCTRICO DE UNA EMPRESA
SIDERURGICA**

**MAINTENANCE PROGRAM BASED ON TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE,
FOR AN ELECTRIC ARC FURNACE OF A STEEL COMPANY**

RESUMEN

La industria siderúrgica es una de las más importantes en la fabricación de acero para el mundo, la producción de acero es un parámetro de desarrollo productivo de un país, siendo este la base de producción de otras industrias, en Ecuador existen 3 siderúrgicas que durante en año 2021 tuvieron una producción 610.000 ton[1], estas compañías están compuestas por equipos de gran dimensión y complejas de mantener, es por esto que, los productos se centran en calidad y costo del producto, para así aumentar la productividad. Con la experiencia, la toma de datos y catálogos de fabricantes, el departamento de mantenimiento de las siderúrgicas puede establecer un plan de mantenimiento basados en TPM para Horno de arco eléctrico.

El mantenimiento industrial es una rama de la ingeniería, que ha ido evolucionando a gran nivel con el paso del tiempo. En la actualidad los cambios políticos e ideológicos ha hecho que las empresas a nivel mundial tengan que adaptarse a temas tecnológicos. Las empresas Siderúrgicas que desee enfrentar estos retos debe estar preparadas para asimilar los cambios que le imponen el desarrollo de la tecnología[6], es por esto, que es importante que la información que se obtiene se la debe ejecutar en 3 pasos que son recolectar, analizar y procesar, con esto formular hipótesis en las áreas de mantenimiento y producción; la misión fundamental para los especialistas que organizan y controlan la gestión de mantenimiento, y buscar la forma más eficiente y eficaz con el mínimo de costo para garantizar el desempeño total del mantenimiento y el cumplimiento de la misión y visión de las empresas siderúrgicas.

Mediante este trabajo se establecerá un programa de mantenimiento, donde se puede instaurar una mejora para disminuir los tiempos de parada del horno eléctrico.

ABSTRACT

The steel industry is one of the most important in the manufacture of steel in the world, the production of steel is a parameter of productive development of a country, this being the production base of other industries, in Ecuador there are 3 steel companies that during The year 2021 had a production of 610,000 tons[1], the companies are made up of large teams and are complex to maintain, which is why the products focus on product quality and cost, in order to increase productivity. With experience, data collection and manufacturers' catalogues, the steel mill maintenance department can establish a maintenance plan based on TPM for Electric Arc Furnaces.

Industrial maintenance is a branch of engineering, which has evolved to a great level over time. At present, political and ideological changes have made companies worldwide have to adapt to technological issues. Steel companies that want to face these challenges must be prepared to assimilate the changes imposed by the development of technology [6], this is why it is important that the information obtained must be executed in 3 steps that are to collect , analyze and process, with this formulate hypotheses in the areas of maintenance and production; The fundamental mission for the specialists who organize and control maintenance management is to seek the most efficient and effective way with the minimum cost to guarantee the total performance of maintenance and the fulfillment of the mission and vision of the steel companies

Through this work, a maintenance program will be established, where an improvement can be established to reduce the downtime of the furnace.

PALABRAS CLAVE:

Horno Eléctrico, TPM, 5s, Mantenimiento

KEYWORDS:

Arc Electric Furnace , TPM, 5S, Maintenance

1. Introducción

El acero es uno de los materiales de ingeniería y construcción más importante del mundo. Este material es una aleación de hierro y carbono que contiene menos del 2% de carbono, 1% de manganeso y en pequeñas cantidades silicio, fósforo, azufre y oxígeno. Se utiliza en varios aspectos industriales: en automóviles, productos de construcción, refrigeradores, lavadoras y buques de carga[2]. Para la fabricación de acero se requiere de un horno de arco eléctrico, este fue inventado por Paul Herould en 1889, para las primeras pruebas de funcionamiento del horno se utilizaba energía eléctrica es por esta actividades que en la actualidad lleva el nombre de horno de arco eléctrico; los primeros hornos tenían una capacidad de 1 a 15 ton, pero ahora han evolucionado en tecnología y en la capacidad llegando hasta a las 400 ton [3]. Los controles que poseen se basan en las nuevas tecnologías que ha implementado la electrónica y diseños de componentes eléctricos, que hacen que su consumo energético sea los mínimos posibles al momento de empezar su funcionamiento[4], con esto se logra

que los hornos eléctricos actuales sean más eficientes y amigables con el medio ambiente. La siderúrgica se la considera como la espina dorsal de industria a nivel de cada país[5], la cual se dedica a la elaboración de productos largos de acero, los procesos de fabricación de acero tienen un alto grado de complejidad por el manejo de desechos metálicos, que tiene que procesar; uno de los equipos de mayor importancia de las empresas siderúrgicas es el Horno de Arco eléctrico, en donde la energía eléctrica pasa a través de electrodos de grafito para transformarla en energía calorífica, con estas combinaciones los desechos metálicos pasan a ser acero líquido y luego convertirse en productos de acero de diferentes formas y diseños que sirven para la construcción y diseño de equipos.

La demanda de acero ha hecho que los procesos de los hornos eléctricos tengan más equipos auxiliares para aumentar la productividad, es por esto que las empresas tienen que hacer inversiones millonarias para conformar estructuras grandes y complejas que van desde veinte metros de altura y diez metros de ancho en su base, la infraestructura y equipos auxiliares están expuestos a la energía calorífica que va desde los 100°C hasta la temperatura de 2000°C [6].

El horno eléctrico es un recipiente cilíndrico que se soporta en una plataforma basculante y que trabaja con alta intensidad de corriente, para ser transformada en energía térmica, fundir los desechos metálicos y convertirla en acero líquido, durante todo este proceso las condiciones a las que está expuesto durante su desarrollo productivo son la contaminación ambiental, temperaturas altas y reacciones químicas, por estas circunstancias los elementos mecánicos, eléctrico y refractario sufren deterioros prematuros ocasionando múltiples tiempos de parada y afectaciones económicas y productivas[7], [8].

Por la temperatura generada en el horno, la contaminación ambiental, y los desechos metálicos (materia prima) el horno de arco eléctrico se ve afectado en sus dispositivos que lo conforman, estos son: equipos auxiliares, dispositivos electrónicos, estructura metálica paneles y sistemas hidráulicos que hacen que el horno de arco eléctrico se convierte en una infraestructura compleja de mantener, la productividad del horno eléctrico se ve afectada por los tiempos de parada, esta problemática hace que los costos de producción y el consumo energético sean elevados, es por esto que las metas establecidas durante los meses de producción no se cumplen, haciendo que los costos fijos y variables tiendan a subir[9].

El TPM(mantenimiento productivo total) tiene como propósito mejorar la eficacia de los equipos en este caso el Horno de arco eléctrico, a través de un programa de mantenimiento que utiliza estrategias para mantener la siderúrgica en un nivel óptimo productivo[10], a través del un enfoque colaborativo para la mejora continua sobre la calidad del producto, la eficacia operativa, la comprensión de la productividad y la seguridad entre las funciones de la organización, y también el compromiso

de los operadores para que cumplan con mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo, y así generar una ingeniería de confiabilidad, promover gestión de calidad, y la técnica de mantenimiento [11] [12].

TPM se la puede analizar en tres palabras:

Total: Esto va desde el nivel gerencial general hasta los trabajadores de planta.

Productivo: Cero actividades desperdiciadas o la producción de bienes y servicios con calidad.

Mantenimiento: Mantener el equipo y la planta en buen estado de funcionamiento con disponibilidad [13], [14].

Las 5S tiene como meta lograr orden, eficiencia y disciplina en cada punto de trabajo, en donde deben estar involucrados los gerentes hasta los operarios para un mejoramiento continuo, las 5S se derivan de las palabras japonesas Seiri(Selección) Seleccionar lo necesario y eliminar lo que no lo es, Seiton(Orden) Cada cosa en su sitio y un sitio para cada cosa, Seiso(Limpieza) Esmerarse en la limpieza del lugar y de las cosas, Seiketsu(normalización) Cómo mantener y controlar las tres primeras S y Shitsuke(Autodisciplina) Convertir las 4S en una forma natural de actuar, creando hábitos en los todos los integrantes de la organización para una cultura de la calidad [15].

1.1 Descripción del horno eléctrico

La materia prima que ingresa al Horno Eléctrico es casi un 100% por ciento de chatarra ferrosa. El Horno es un recipiente cilíndrico, con revestimiento refractario y una estructura metálica formada por paneles tubulares por donde circula agua(refrigeración) esta se la establece por la extrema condición térmica que genera [16], [17]. Los electrodos de carbono pueden subir y bajar a través de las aberturas del horno eléctrico (Bóveda) y sus movimientos los hacen a través de cilindros hidráulicos los cuales son controlados por un sistema olehidráulico. Con los electrodos en su parte más alta de carrera, la bóveda puede girar a un lado para permitir que se coloque chatarra mediante una grúa aérea y así empezar el proceso productivo; luego de esto la carga de chatarra se completa a través de un transportador (Consteel) con el cual se completa la carga que necesita el horno, esta carga es controlada por celdas de carga(pesaje) la cual controla la cantidad de chatarra que debe ingresar al horno.

La corriente eléctrica genera calor entre los 3 electrodos de grafito y a través de la chatarra metálica se genera un arco eléctrico, para derretirla y pasarla de sólida a líquida. La producción de acero en un horno eléctrico es un proceso por coladas que van en un recipiente cilíndrico de la mitad de capacidad del horno eléctrico en donde se elimina [18]. Las etapas incluyen carga, fusión y refinamiento. Durante la etapa de carga, la chatarra es introducido en el horno por cesta y completada por Consteel, también se incluyen la carga de carbón (dispensador de carbón) y cal (dispensador de cal), como agentes

fundentes. Después de la etapa de carga, el siguiente paso es la fase de fusión, durante la cual la energía eléctrica es suministrada al interior del horno conjuntamente con la lanza (lanza supersónica) la cual ayuda a suministrar oxígeno y carbón para aportar energía química y así adicionar energía térmica para ayudar a la fusión y también eliminación del exceso de materiales no requeridos.

Durante el proceso de refinado, los elementos químicos que sean incompatible con el hierro y el acero se separan con cal (dispensador de cal) para formar una capa de escoria en la parte superior del metal fundido. La escoria se elimina típicamente volcando el horno hacia atrás vertiendo la escoria fundida. A través de una puerta de escoria cuando ya está listo el acero requerido, a través de un agujero excéntrico (EBT) se lo abre y se vierte un recipiente (Cuchara) para luego seguir con la siguiente colada.

El objetivo de este trabajo es establecer un programa de mantenimiento, donde se puede instaurar una mejora para disminuir los tiempos de parada del horno eléctrico, con el cual se lograría un cumplimiento de producción y una disminución de tiempos de parada y un proceso secuencial sin paradas, y a la vez mantener las condiciones y funcionamiento estándar y así permitir que la producción de acero se cumpla en cantidad y calidad que se requiere, esto también involucra capacidad y volumen, costos fijos, costos operativos y seguridad ambiental[19].

2. Materiales y métodos

Esta investigación basa su análisis, en primera instancia en la recopilación de datos acumulados durante un periodo definido, es aquel periodo en el cual la producción tiene una tendencia a aumentar; de esta forma realizamos un registro con una mayor población de datos y en situación más crítica operativamente hablando. Se ejecuta la toma de datos durante 90 días desde el inicio del mes de octubre hasta el fin de mes de diciembre, en donde se obtuvieron datos de tiempos de parada, falla y producción diaria, el personal encargado de la recopilación serán los ingenieros de mantenimiento. Una vez identificados y ordenados los datos con el fin de detectar y clasificar los equipos y sus tiempos de fallas correspondientes.

Mediante un histograma identificamos la prioridad a tomar en cuenta, equipos auxiliares del horno, estos datos ordenados y depurados se ingresa al software llamado MINITAB, este programa está enfocado en analizar datos complejos para identificar y solucionar problemas referentes a procesos productivos, adentro del programa existe una amplia gama de funcionalidades básicas y avanzadas, se utiliza la herramienta estadística descriptiva para ordenar y presentar el conjunto de datos resumido en la Tabla 1[20].

Para ya empezar con el programa de mantenimiento, con los datos tabulados y separados por equipo, utilizando el criterio índice tiempo medio entre fallas (TMBF) es un índice que da información sobre la fiabilidad, mejora continua y análisis de sistemas de producción de un equipo [21], con esta información se ejecutan graficas de barras de los equipos con mayor tiempo de parada, y ya con todos los datos obtenidos se establece un plan de mantenimiento preventivo y aplicación de las 5S[22][23] .

$$TMBF = \frac{\text{Tiempo de operacion}}{\text{Número de fallas}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Para ejecutar aplicación de la herramienta 5s se tomaron fotografías y se exploró los sitios de trabajo en las cuales se puede implementar cada técnica para reducir tiempos operáticos[24].

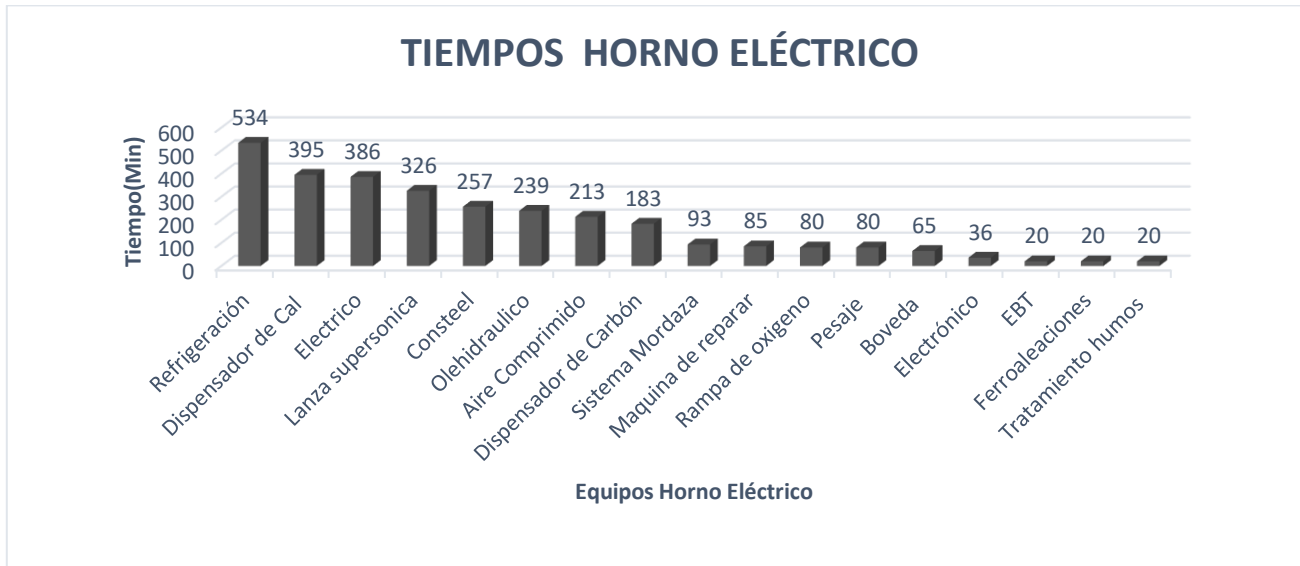
3. Resultados

3.1 Identificación de Tiempo

En la Figura 1 se muestra el total de equipo auxiliares del Horno eléctrico con sus tiempos de parada. De ahí se observar que la refrigeración, lanza supersónica, Eléctrico, Consteel, olehidráulica, dispensador de cal, dispensador de carbón y aire comprimido; los elementos antes mencionados corresponden a los 8 mayores tiempos de parada que hacen que el horno eléctrico tenga que detenerse en su producción; la refrigeración se refiriere a la estructura de que conforma el horno a través de paneles tubulares por los cuales recircula agua a alta presión[25], están interconectados por mangueras formando una red de circulación de 9 paneles refrigerados; la lanza supersónica está formada por una estructura de dos tubos de acero por los cuales se inyecta carbón y oxigeno hacia el interior del horno eléctrico; el sistema eléctrico está conformado por trasformador, cables de alta corriente, limitadores y cables de comunicación con los PLC; el Consteel es una estructura tipo bandeja refrigerada de 32 metros de largo por la cual se alimenta chatarra hacia el horno; la olehidráulico está conformado por un tanque de almacenamiento de aceite, banco de válvulas y actuadores para que el horno tenga movimiento mecánicos requeridos del proceso; el dispensador de cal y carbón están conformados por un tanque de almacenamiento, un acumulador y línea de transporte respectivamente; el aire comprimido es utilizado en varios equipos para alimentar aditivos químicos al horno o como instrumental.

Figura 1

Tiempos de parada



Nota: La figura muestra todos los tiempos de parada por equipos auxiliares del horno eléctrico.

3.2 Evaluación de tiempos con respecto a la producción.

En la Tabla 1 se observa los resultados arrojados por el software MINTAB.

Tabla 1

Resultado Minitab estadística descriptiva.

Variable	N	Error est. de la					
		Media	media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Producción (Ton)	85	566,0	14,7	135,3	99,2	564,0	838,7
Tiempo de parada del Horno Eléctrico(min)	85	35,91	3,58	33,04	10,00	25,00	150,00

Nota. Datos obtenidos en Minitab.

La media de la producción es de 566 ton/día, la mediana es 564 ton/día esto nos indica que es el dato central de todos los datos obtenidos, el rango de producción va desde 99,2 ton como mínimo a 838,7 ton de producción como máximo, la mayoría cantidad de producción está entre 701,3 y 430,7 ton de producción de acuerdo a la desviación estándar calculada.

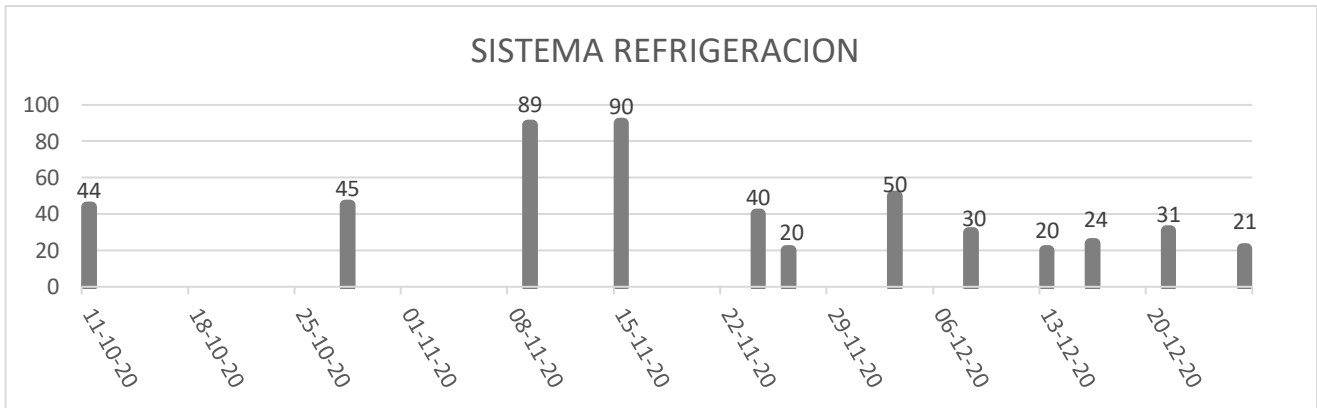
La media de tiempo de parada del horno es de 35,91 min/día, la mediana es 25 min /día esto nos indica que es el dato central de todos los datos obtenidos, el rango de tiempo de parada va desde 10 min ton como mínimo a 150 min como máximo, la mayoría cantidad de producción está entre 3 min y 68,95 min de tiempo de parada de acuerdo a la desviación estándar calculada.

3.3 Tiempo de fallas auxiliares horno eléctrico

Con los tiempos obtenidos ejecutamos una gráfica de barras con la fecha y el tiempo de parada para establecer los tiempos medio entre fallas de todos los sistemas que conforman el horno eléctrico y así establecer el programa de mantenimiento.

Figura 2

Tiempo de parada vs periodo, en sistema de refrigeración



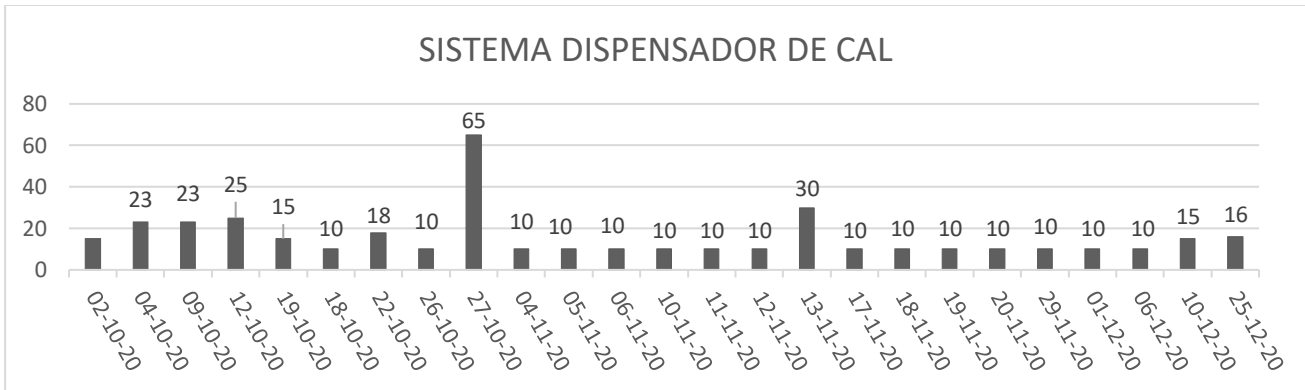
Nota. La figura muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema de refrigeración.

Elaboración propia

La Figura 2 muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema de refrigeración tuvo un total de 504 min, que equivale al 18% de total de tiempo de falla; el tiempo más significativo fue a causa de una perforación en una de las tuberías que componen la parte de refrigeración del horno eléctrico por donde circula agua, la causa raíz desgaste por fricción.

Figura 3

Tiempo de parada vs fecha del evento, en sistema dispensador de cal

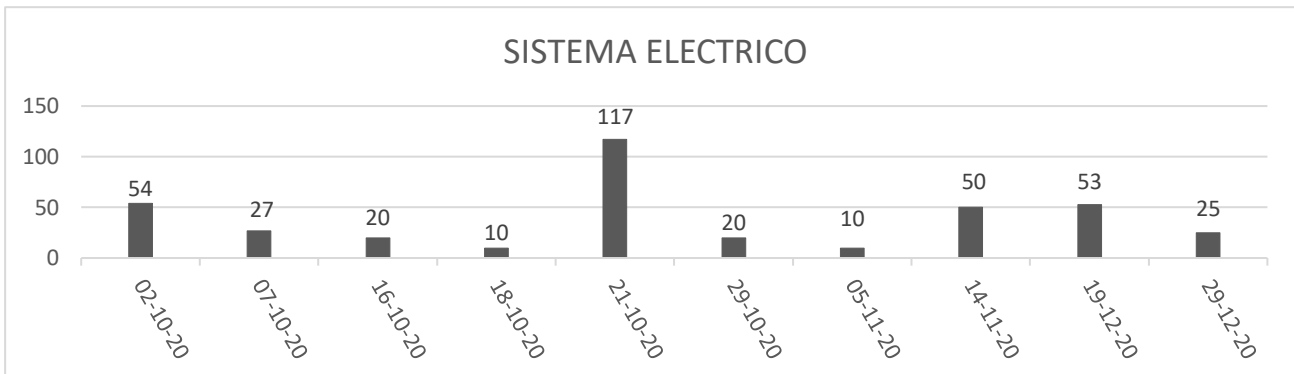


Nota. La figura muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema dispensador de cal.

La Figura 3 muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema dispensador de cal tuvo un total de 395 min, que equivale al 13% de total de tiempo de falla; el tiempo más significativo fue a causa de un taponamiento en la línea de transporte por donde se alimenta cal al horno eléctrico, la causa raíz desgaste de tubería.

Figura 4

Tiempo de parada vs fecha del evento, en sistema eléctrico.

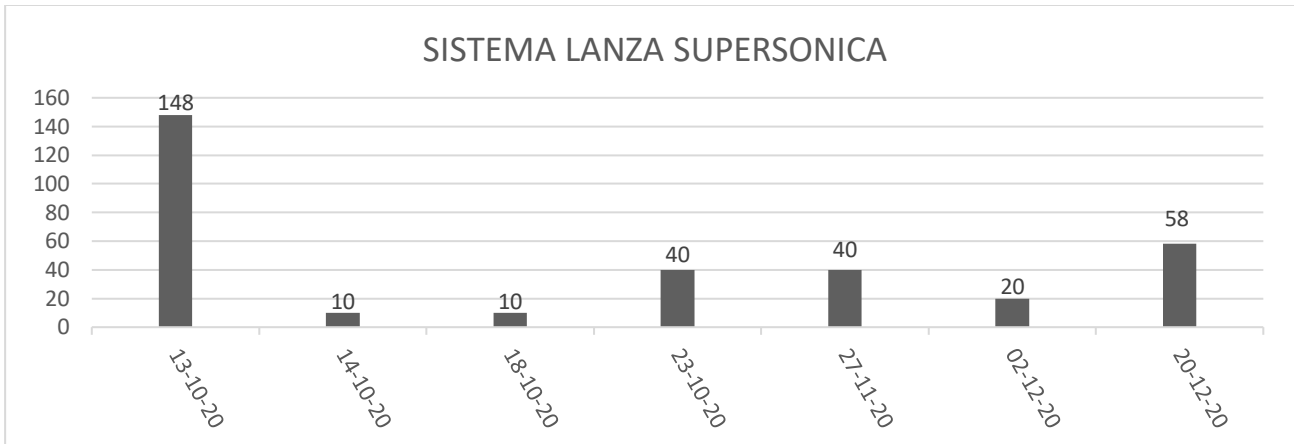


Nota. La figura muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema eléctrico.

La Figura 4 muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema eléctrico tuvo un total de 386 min, que equivale al 13% de total de tiempo de falla; el tiempo más significativo fue a causa de una comunicación de los limitadores de apertura de horno eléctrico, la causa raíz limitador desgaste.

Figura 5

Tiempo de parada vs fecha del evento, en sistema lanza supersónica.



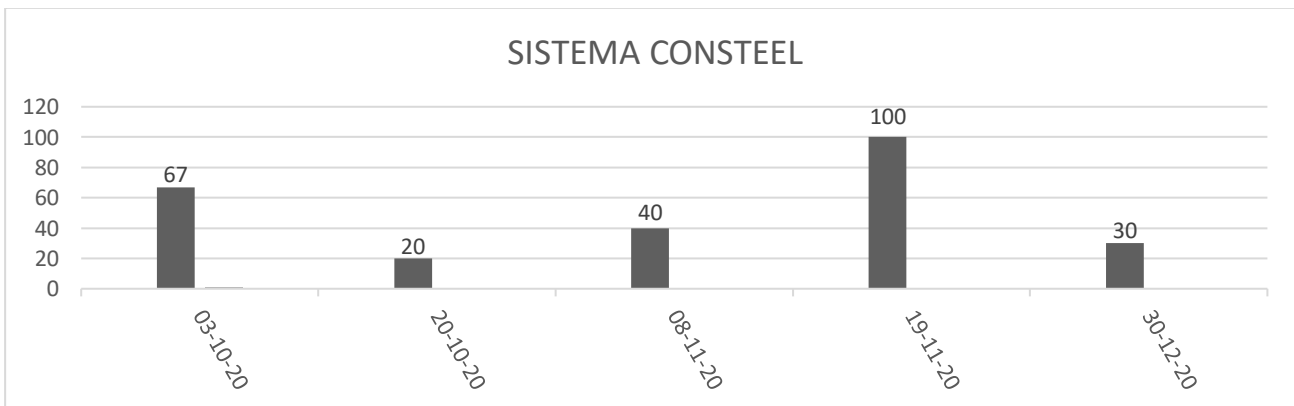
Nota. La figura muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema lanza supersónica.

Elaboración propia

La Figura 5 muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema lanza supersónica tuvo un total de 326 min, que equivale al 11% de total de tiempo de falla; el tiempo más significativo fue a causa de una perforación de unas de sus tuberías que es refrigerada por agua, la causa raíz desgaste de tubería.

Figura 6

Tiempo de parada vs fecha del evento, en sistema Consteel.

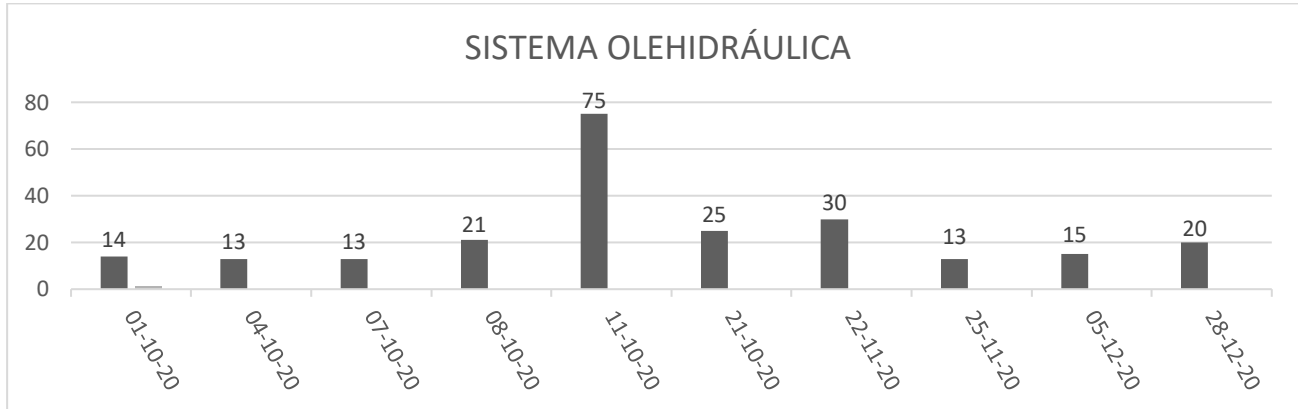


Nota. La figura muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema lanza supersónica.

La Figura 6 muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema lanza supersónica tuvo un total de 257 min que equivale al 8% de total de tiempo de falla; el tiempo más significativo fue a causa de una perforación de una de las planchas refrigerado por agua, con la cual ingresa chatarra al horno, la causa raíz desgaste de plancha.

Figura 7

Tiempo de parada vs fecha del evento, en sistema Olehidráulico.

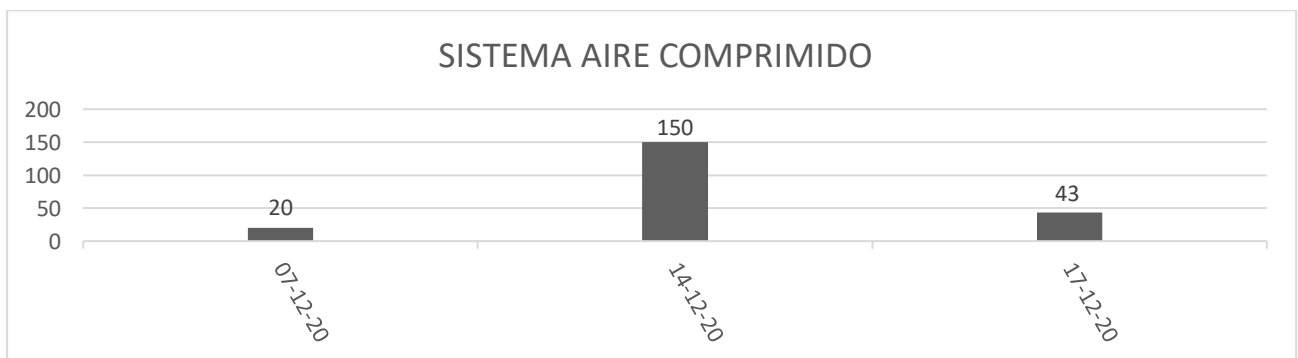


Nota. La figura muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema olehidráulico.

La Figura 7 muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema olehidráulico tuvo un total de 239 min, que equivale al 8% de total de tiempo de falla; el tiempo más significativo fue a causa de fallo en una servovalvula de unos de tres electrodos donde circula corriente eléctrica del horno eléctrico, la causa raíz falta de alimentación de 24 voltios.

Figura 8

Tiempo de parada vs fecha del evento, en sistema aire.

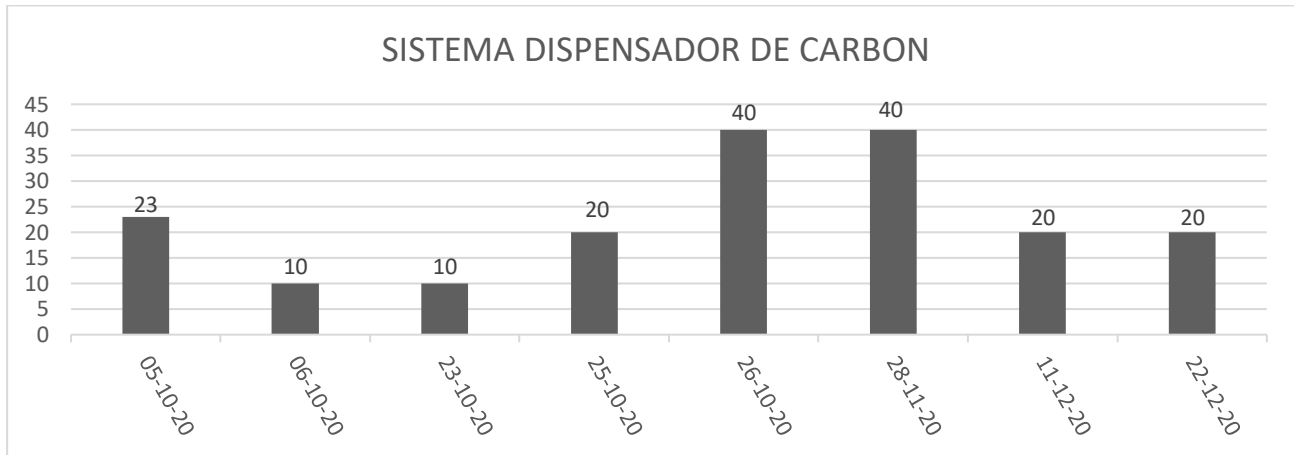


Nota. La figura muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema aire comprimido.

La Figura 8 muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema aire comprimido tuvo un total de 213 min, que equivale al 7% de total de tiempo de falla; el tiempo más significativo fue a causa de un fallo en compresor de 125 psi que alimenta a los dispensadores de cal y carbón, la causa raíz fallo en alimentación de corriente eléctrica.

Figura 9

Tiempo de parada vs fecha del evento, en sistema dispensador de carbón.



Nota. La figura muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema dispensador carbón.

Elaboración propia

La Figura 9 muestra un gráfico de barras de tiempo de parada vs fecha del evento, el sistema dispensador carbón tuvo un total de 183 min, que equivale al 6% de total de tiempo de falla; el tiempo más significativo fue debido a fallos en válvula proporcional de 2" por donde se alimenta carbón al horno, la causa raíz, desgaste en esfera de cerámica por abrasión.

Tabla 2

Programa mantenimiento horno eléctrico

ITEM	SUBEQUIPO	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA	T. MTTO	TMBF	AREA	5S UTILIZAR
1	Sistema de refrigeración	Inspección de estructura de panel flotante	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEISO, SHITSUKE
2	Sistema de refrigeración	Cambio de manguera cable colgante	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
3	Sistema de refrigeración	Cambio de manguera refrigeración bóveda	6 semanas	Preventivo	45 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
4	Sistema de refrigeración	Cambio de manguera enfriamiento cabezote	4 semanas	Preventivo	30 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
5	Sistema de refrigeración	Cambio de manguera enfriamiento bus bar	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE

6	Sistema de refrigeración	Cambio de manguera refrigeración panel 2	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
7	Sistema de refrigeración	Cambio de manguera refrigeración EBT panel	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
8	Sistema de refrigeración	Cambio de manguera refrigeración puerta	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
9	Dispensador de Cal	Inspección de válvula proporcional	1 semana	Preventivo	7 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
10	Dispensador de Cal	Cambio de línea nueva de transporte	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
11	Dispensador de Cal	Cambio de manguera de transporte	6 semana	Preventivo	45 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
12	Dispensador de Cal	Cambio de conector tolva	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
13	Sistema eléctrico	Calibración limitador apertura bóveda	6 semanas	Preventivo	45 días	Eléctrico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
14	Sistema eléctrico	Cambio de cable eléctrico de bóveda	4 semana	Preventivo	30 días	Eléctrico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
15	Sistema eléctrico	Cambio de Lanza medición parámetros químicos	12 semanas	Preventivo	90 días	Eléctrico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
16	Sistema eléctrico	Calibración de limitador de apertura de EBT	12 semanas	Preventivo	90 días	Eléctrico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
17	Sistema eléctrico	Cambio de cabezote fases	12 semanas	Preventivo	90 días	Eléctrico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
18	Sistema eléctrico	Calibración de limitador seguro 0°	12 semanas	Preventivo	90 días	Eléctrico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
19	Sistema Lanza Supersónica	Cambio Lanza supersónica	4 semanas	Preventivo	30 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
20	Sistema Lanza Supersónica	Cambio de limitador de posición	12 semanas	Preventivo	90 días	Eléctrico	SEIRI, SEITON,

							SEISO, SHITSUKE
21	Sistema Lanza Supersónica	Cambio Mecanismo de giro	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
22	Sistema Lanza Supersónica	Cambio de manguera de oxigeno	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
23	Sistema Consteel	Cambio de manguera de enfriamiento	4 semanas	Preventivo	30 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
24	Sistema Consteel	Cambio de manguera de enfriamiento connecting car	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
25	Sistema Consteel	Cambio de punta connecting car	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
26	Sistema Olehidráulico	Cambio bomba hidráulica 1	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
27	Sistema Olehidráulico	Cambio de válvula hidráulica de basculado	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
28	Sistema Olehidráulico	Cambio de cilindro hidráulico de seguro 4°	4 semanas	Preventivo	30 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
29	Sistema Olehidráulico	Cambio de válvula hidráulica servo	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
30	Sistema Olehidráulico	Cambio de cilindro hidráulico de seguro 0°	8 semanas	Preventivo	60 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
31	Sistema Olehidráulico	Cambio de manguera hidráulica mordaza	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
32	Aire comprimido	Inspección válvula principal de alimentación línea aire	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
33	Dispensador de carbón	Cambio de válvula proporcional	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE
34	Dispensador de carbón	Cambio de manguera de cerámica	12 semanas	Preventivo	90 días	Mecánico	SEIRI, SEITON, SEISO, SHITSUKE

Nota. Actividades de mantenimiento para los equipos auxiliares del horno eléctrico.

En la Tabla 2, se establece el programa de mantenimiento en donde se indica la actividad a ejecutar, la frecuencia, tipo de mantenimiento y el departamento de quien será responsable de la ejecución, a la vez se levantaron 34 actividades que se dividen de la siguiente manera: 8 para el sistema de refrigeración, 4 para el dispensador de cal, 6 del sistema eléctrico, 4 para el sistema lanza supersónica, 3 para el sistema consteel, 6 para el sistema olehidráulico, 1 para el aire comprimido y 2 para el dispensador de carbón.

Tabla 3

Aplicación de las 5S para el horno eléctrico.

Técnica	Antes de aplicar 5S		Después de aplicar las 5S	
1S(Seiri) Selección		En taller de repuestos para Horno Eléctrico no esta caracterizado.		Se selecciona y se establece un lugar para cada cosa.
2S(Seiton) Orden		Los repuestos mas grandes como paneles no estaban orden.		Se establece un orden de parte de trabajo.
3S(Seiso) Limpieza		Horno eléctrico sucio		Horno eléctrico Limpio
4S(Seiketsu) Normalización		Se establece plan mantenimiento solo en una hoja de Excel.		Se establecer plan mantenimiento a través un software.

5S(Shitsuke Autodiscipli		Se establecen la misión y visi de la empresa		Establecer la misión y visi del departamento mantenimiento que est relacionados con el de empresa.
-----------------------------	--	---	--	--

Nota. Detalle de las 5S aplicar para complementar programa mantenimiento. Elaboración propia.

Para el mantenimiento del Horno Eléctrico se ejecutó un pequeño cuadro de logros que se pueden obtener aplicando las 5S y así mejorar la productividad y los tiempos de respuesta de parte de mantenimiento. La Tabla 3 muestra las 5S detalladas.

4. Conclusiones y discusión

- Se ha realizado un análisis de todos los datos tomados durante 90 días, en donde se ha identificado 8 equipos auxiliares con los tiempos más magnos de acuerdo al estudio de toma tiempos de parada y son siguientes Refrigeración, Dispensador de cal, Lanza supersónica, Eléctrica, Consteel, Olehidráulico, Aire comprimido y dispensador de carbón.
- En respuesta a los tiempos de parada existentes se hace un estudio de los TMBF, en donde se establece un Plan de mantenimiento basado en TPM para evitar paradas inesperadas y aumentar la disponibilidad del Horno Eléctrico.
- El Horno Eléctrico en la actualidad tiene una productividad promedio de 570 ton diarias, con la implementación del programa de mantenimiento y estableciendo las 35 actividades de mantenimiento se tendría una productividad diaria de 837 ton diarias.
- Con la aplicación del plan de mantenimiento y el enfoque a TPM se desarrollarán mejoras y técnicas de análisis para la resolución de problemas, que tendrán que ser implementados y evaluados que verificar autenticidad de los resultados obtenidos, y minimizar aún más los tiempos de parada del Horno eléctrico.

5. Recomendación

- La metodología de las 5S es una técnica de mejora continua y los resultados están en manos de los lideres de la alta gerencia, y de la participación y compromiso de todo el equipo humano quienes conforman la empresa siderúrgica; Por lo tanto, se sugiere la implementación del plan y las capacitaciones correspondientes a las áreas pertinentes sobre el análisis de los fallos.

Referencias

- [1] "Total production of crude steel." [Online]. Available: https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/annual-production-steel-data/P1_crude_steel_total_pub/CHN/IND. [Accessed: 05-Mar-2022].
- [2] "Nuestras historias | Cómo el acero hace posible el hoy y el mañana." [Online]. Available: <https://stories.worldsteel.org/>. [Accessed: 26-Feb-2021].
- [3] J. Madias, "Chapter 1.5 - Electric Furnace Steelmaking," S. B. T.-T. on P. M. Seetharaman, Ed. Boston: Elsevier, 2014, pp. 271–300.
- [4] Augustine Moffit, "La industria del hierro y el acero," in *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*, pp. 73.1-73.19.
- [5] P. Pérez Gosende, F. Freire- Morán, M. Morales, and J. Carrera, "Competitividad de la industria siderúrgica en el ecuador: un enfoque ex post competitiveness of the iron and steel industry in Ecuador.," 2016.
- [6] J. C. D. Carrillo, "El impacto de la industrialización en el proceso de fabricación de productos intermedios de hierro o acero sin alear como mecanismo de sustitución de importaciones en el contexto de cambio de la matriz productiva de la industria siderúrgica del Ecuador," UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR, 2017.
- [7] S. GROUP, "High Productivity with Electric Arc Furnace," 2000. [Online]. Available: <https://www.sms-group.com>.
- [8] R. J. Wright, "Concepts of Electric Arc Furnace Fume Control," *J. Air Pollut. Control Assoc.*, vol. 18, no. 3, pp. 175–178, 1968.
- [9] L. Fumagalli, M. Macchi, C. Colace, M. Rondi, and A. Alfieri, "A Smart Maintenance tool for a safe Electric Arc Furnace," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 31, pp. 19–24, 2016.
- [10] P. V. A.J. Thomas a, G.R. Jones b, "An Integrated Approach to TPM and Six Sigma Development in the Castings Industry," pp. 620–625, 2006.
- [11] E. Chlebus, J. Helman, M. Olejarczyk, and M. Rosienkiewicz, "A new approach on implementing TPM in a mine – A case study," *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 15, no. 4, pp. 873–884, 2015.
- [12] C.-C. Shen, "Discussion on key successful factors of TPM in enterprises," *J. Appl. Res. Technol.*, vol. 13, no. 3, pp. 425–427, 2015.
- [13] A. H. Gómez, C. E. Toledo, J. M. L. Prado, and S. N. Morales, "Factores críticos de éxito para el despliegue del mantenimiento productivo total en plantas de la industria maquiladora para la exportación en Ciudad Juárez: una solución factorial," *Contaduría y Adm.*, vol. 60, pp. 82–106, 2015.
- [14] B. G. Mwanza and C. Mbohwa, "Design of a Total Productive Maintenance Model for Effective Implementation: Case Study of a Chemical Manufacturing Company," *Procedia Manuf.*, vol. 4, pp. 461–470, 2015.
- [15] L. K. F. Edgar Alexander and Vivas, Fe Esperanza Vivas and de Valga, "Programa 5S para el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad en los puestos de trabajo," *Ind. Actual. y Nuevas Tendencias*, vol. 6, pp. 99–110, 2018.

- [16] M. Kirschen, A. Kronthaler, and C. Rahm, "Impact of Water Cooled Copper Blocks in Refractory Linings on the Energy Balance of Electric Arc Furnaces.," 2007.
- [17] P. A. L. J.A.T. Jones, B. Bowman, "Electric Furnace Steelmaking," in *The Making, Shaping and Treating of Steel*, 1998, pp. 525–660.
- [18] D. K. N. & Mr. Shankar Kalagi and M. B. Maharana, "Improving availability of EAF by avoiding mechanical delay," 2017.
- [19] L. M. Pintelon and L. F. Gelders, "Maintenance management decision making," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 58, no. 3, pp. 301–317, 1992.
- [20] "Minitab introduces advanced features for industrial statistics," *Comput. Stat. Data Anal.*, vol. 9, no. 1, pp. 165–166, 1990.
- [21] I. M. Ribeiro, R. Godina, C. Pimentel, F. J. G. Silva, and J. C. O. Matias, "Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line," *Procedia Manuf.*, vol. 38, pp. 1574–1581, 2019.
- [22] P. Alavian, Y. Eun, K. Liu, S. M. Meerkov, and L. Zhang, "The (α, β) -Precise Estimates of MTBF and MTTR: Definitions, Calculations, and Induced Effect on Machine Efficiency Evaluation **This work was supported by the DGIST R&D Program of the Ministry of Science, ICT and Future Planning (18-EE-01).," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 1004–1009, 2019.
- [23] G. Javier, *Mantenimiento Industrial avanzado*, Segunda. Espana, 2005.
- [24] M. M. Shahriar, M. S. Parvez, M. A. Islam, and S. Talapatra, "Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 8, p. 100488, 2022.
- [25] J. Contreras-Serna, C. I. Rivera-Solorio, and M. A. Herrera-García, "Study of heat transfer in a tubular-panel cooling system in the wall of an electric arc furnace," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 148, pp. 43–56, 2019.